



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 101 14 811 A 1

⑯ Int. Cl. 7:
G 05 B 19/401

82
(2)

⑯ Aktenzeichen: 101 14 811.9
⑯ Anmeldetag: 26. 3. 2001
⑯ Offenlegungstag: 10. 10. 2002

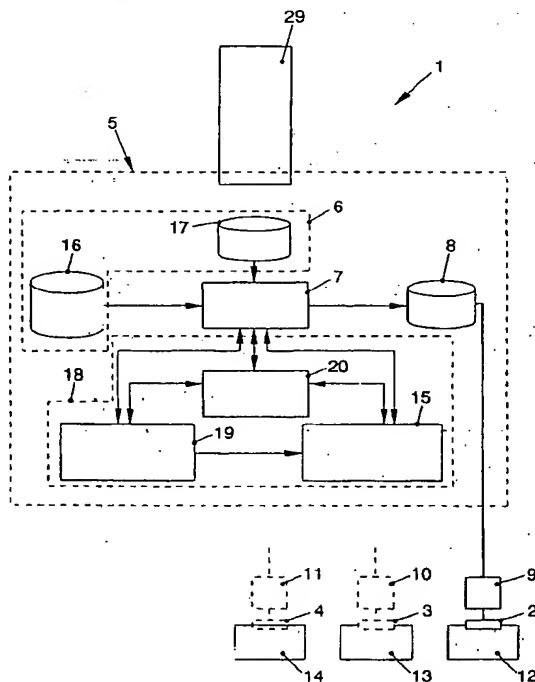
⑯ Anmelder:
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑯ Erfinder:
Meyer, Hans-Werner, 66709 Weiskirchen, DE;
Albersmann, Frank, 38518 Gifhorn, DE; Ebner, Lutz,
38471 Rühen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ System und Verfahren zur Erstellung von mehrachsigen Bearbeitungs-Vorgängen an Werkstücken

⑯ Die Erfindung betrifft ein System und ein Verfahren zur Erstellung von mehrachsigen Bearbeitungs-Vorgängen an Werkstücken auf mindestens einer Werkzeugmaschine mittels mindestens eines Werkzeugs unter Einbeziehung einer zur Prozesssteuerung vorgesehenen, gespeicherte Module enthaltenden, programmierbaren Datenverarbeitungsanlage, in der zumindest eine CAM-Moduleinheit, die ein Datenbankmodul für Maschinen, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe und ein Datenmodul für Soll-Bearbeitungs-Bahnen bezüglich der Sollgeometrie des betreffenden Werkstücks enthält, sowie ein Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung und ein volumendiskretes Simulationsmodul zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung in Verbindung stehend integriert sind. Die Aufgabe besteht darin, eine anlageninterne Beherrschung der Kollision vor der Durchführung des jeweils nächsten Bearbeitungs-Vorgangs herbeizuführen, wobei die vorhandenen Werkzeugmaschinen einbezogen und optimal zur Kollisionsvermeidung genutzt werden sollen. Die Lösung besteht darin, dass das Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchronisierung sowohl mit einem Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen als auch mit einem Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen in Verbindung steht, wobei im Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen das volumendiskrete Simulationsmodul (19) zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung und ein kollisionserkennendes Simulationsmodul (15) zur Volumenmodellierung ...



Beschreibung

- [0001] Die Erfindung betrifft ein System und ein Verfahren zur Erstellung von mehrachsenigen Bearbeitungs-Vorgängen an Werkstücken auf mindestens einer Werkzeugmaschine mittels mindestens eines Werkzeugs unter Einbeziehung einer zur Prozesssteuerung vorgesehenen, gespeicherte Module enthaltenden, programmierbaren Datenverarbeitungsanlage, in der mindestens eine CAM-Moduleinheit, die ein Datenbankmodul für Maschinen, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe und ein Datenmodul für Soll-Bearbeitungs-Bahnen bezüglich der Sollgeometrie des betreffenden Werkstücks enthält, sowie ein Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung und ein volumendiskretes Simulationsmodul zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung in Verbindung stehend integriert sind, die im Werkzeug- und Formenbau Anwendung finden können.
- [0002] Module der Datenverarbeitungsanlage können sowohl Daten z. B. in Form von Datenbanken als auch Softwareprogramme zur Durchführung realer und virtueller technischer Bearbeitungs-Vorgänge sein, die in zugehörigen Speichereinheiten enthalten sind. Im modernen Werkzeug- und Formenbau ist die durchgängige Vennendung von CAD-CAM-Moduleinheiten üblich. Im Allgemeinen können die in einer CAM-Moduleinheit erzeugten NC-Programme direkt von der Werkzeugmaschine abgearbeitet werden. Zur Datenverarbeitungsanlage gehört in den meisten Fällen eine Ein-/Ausgabeeinrichtung, zumindest ein Bildschirm, auf dem virtuelle technische Bearbeitungs-Vorgänge – Simulationen – beobachtbar sind.
- [0003] Es ist ein volumendiskretes, insbesondere abtragsbezogenes Simulationsmodul "Ncspeed" zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung (Vorschubsimulationsmodul) auf vorgegebenen Bearbeitungs-Bahnen unter der Internet-Adresse <http://www.formtec.de> vom 12.09.2000 beschrieben, wobei in einer zugehörigen Datenverarbeitungsanlage das gespeicherte Vorschubsimulationsmodul die in der CAM-Moduleinheit enthaltenen NC-Programme analysiert und optimiert. Die wesentlichen Funktionen des bekannten Vorschubsimulationsmoduls sind die Visualisierung des Materialabtrages zur Kontrolle der NC-Programme, eine Optimierung der NC-Programme durch Anpassung der Vorschubgeschwindigkeit sowie eine wahlweise spezielle Anpassung von Bearbeitungs-Vorgängen. Dabei werden kritische Situationen wie Gegenlauf und großer Umschlingungswinkel berücksichtigt, Leerwege optimiert, z. B. die Spindeldrehzahl wahlweise und bei Abdrängungsproblemen besonders angepasst. Mit diesem Vorschubsimulationsmodul kann der Materialabtrag vom Werkstück mittels des Werkzeugs durch ein diskretes Abtragsmodell (Nagelbrettmodell) wirksam und schnell simuliert werden, weil bei den Bearbeitungs-Vorgängen ständig wechselnde Werkzeugbelastungen auftreten können. Die Form des Werkstücks nach den realen Bearbeitungs-Vorgängen soll der Ausgangspunkt für die Optimierung der nachfolgenden Bearbeitungs-Vorgänge sein. Bedingt durch das von den ersten Bearbeitungs-Vorgängen verbleibende Oberflächenprofil können bei den nachfolgenden Bearbeitungs-Vorgängen ständig wechselnde Werkzeugbelastungen auftreten. Der vorschubgeschwindigkeitsbezogene Materialabtrag wird ausgewertet und das Vorschubsimulationsmodul ist durch die volumendiskrete Simulation in der Lage, die Schwankungen in der Werkzeugbelastung zu erkennen und die Vorschubgeschwindigkeit entsprechend schnell anzupassen.
- [0004] Dem Anwender stehen dabei lediglich nur Trial- und Errorverfahren zur Verfügung, in denen die geeigneten Werkzeugbahnen generiert, getestet werden, wobei bei auftretenden Kollisionen durch den manuellen Eingriff des An-

wenders eine Kollisionsbehebung durch Schreiben eines neuen Programms gefunden und durchgeführt werden muss. Insbesondere fehlen Daten zur Maschinen- und Aufspannungssituation bei der NC-Bahnberechnung, so dass die Berechnung sich nur auf die ursprünglichen Bahnen beschränkt.

[0005] Es ist unter der Internet-Adresse <http://www.opus-cam.de> vom 22.09.2000 ein anderes modular aufgebautes Programmiersystemmodul OPUS (Offenes Produktions-Unterstützungs-System) beschrieben, das ein anpassfähiges NC-Programmiersystem darstellt. Das modular aufgebaute Systemmodul umfasst neben den Kern-Modulen zur Kontur-Erfassung bzw. -Aufbereitung, zum Editieren von NC-Programmen, zum Definieren und Berechnen der Werkzeugbahnen, zum Generieren eines Quellprogrammes, zum Simulieren und den Postprozessoren auch Module, die das Einbinden des Systems in das betriebliche Umfeld ermöglichen, wie z. B. die integrierte Makro-Programmiersprache, CAD-Übernahme-Module, Ein- und Ausgabe- sowie DNC-Module und die Möglichkeit der PPS-Anbindung. Das Systemmodul verfügt über ein Datenbank-Konzept zur Verwaltung der NC-Programme, der Werkzeuge, der Spannmittel, von technologischen Daten, der Konturen usw. Dabei werden alle gängigen NC-Maschinen-Bearbeitungs-Vorgänge, wie z. B. Drehen (2 Achsen, 4 Achsen und angetriebene Werzeuge), Fräsen (bis 5 Achsen-Mehrseitenbearbeitung), Brennschneiden, Drahterodieren (2 und 4 Achsen), aber auch NC-Sonder-Maschinen, z. B. Mehrspindel-Bohrmaschinen, unterstützt.

[0006] Des Weiteren ist unter der Internet-Adresse <http://www.openmind.de> vom 20.07.2000 ein 5-Achs-Simultanbearbeitungsmodul beschrieben, das die 5-Achs-Simultanbearbeitung realisieren soll. Dieses 5-Achs-Simultanbearbeitungsmodul in Form eines NC-Programmmoduls ist als Zusatzmodul für integrierte CAM-Lösungen vorgesehen. Damit soll das Werkstück möglichst in einer Aufspannung nahezu vollständig spanend bearbeitet werden, um andere Bearbeitungs-Vorgänge, wie z. B. das Senkerodieren, zu minimieren. Dies erfordert NC-Programmiermodule, die 2D und 3D vereinigen und die 5-Achs-Simultanbearbeitung unterstützen. Über einen Flächenverbund hinweg wird die NC-Bahn berechnet und dabei erfolgt die Kollisionskontrolle automatisch. Die Bearbeitung des Werkstücks ist in nur einer Aufspannung möglich.

[0007] Unter der Internet-Adresse <http://www.openmind.de> vom 20.07.2000 ist auch ein CAMorientierter Modul "hyperMill" beschrieben, in dem einzelne Bearbeitungs-Vorgänge als Kombination aus Werkstückgeometrie, Werkzeug und Bearbeitungsstrategie definiert werden. Diese Kombination kann vom Anwender bei Bedarf jederzeit neu definiert werden. Ändert sich beispielsweise die Geometrie eines Werkstücks, wird eine neue Werkstückgeometrie ausgewählt. Innerhalb der CAM-Moduleinheit können die Bearbeitungs-Bahnen nicht nur manuell, sondern auch automatisch berechnet werden. Die zugehörige automatische Kollisionskontrolle, in die auch der Werkzeughalter eingeschlossen ist, bleibt aber auf den Bereich der CAM-Moduleinheit beschränkt. Zur Bearbeitung eines Werkstücks werden somit die originalen Ausgangs-Bearbeitungs-Bahnen festgelegt, die keine Rückmeldung vom jeweils augenblicklichen Bearbeitungs-Vorgang erhalten, wenn während des Bearbeitungs-Vorgangs doch eine Kollision stattfinden sollte.

[0008] Das Problem besteht aber auch darin, dass die Daten der aktuellen Bearbeitungs-Vorgänge zur Korrektur nicht eingesetzt werden können. Ebenso werden keine Maschinen berücksichtigt. Die Kollisionsbehebung beschränkt sich darauf, korrekte statische Bahnen herauszuarbeiten, die aber nicht unmittelbar vor dem nächsten Bearbeitungs-Vorgang zur Verfügung stehen.

[0009] Ein Problem der bekannten CAM-Moduleinheiten, insbesondere bei den NC-Bahnberechnungen besteht also darin, dass in den Datensätzen und in den zugehörigen Programmen die Maschinendaten und die Aufspanndaten der Werkzeuge und der Werkstücke nicht berücksichtigt werden.

[0010] Ein anderes Systemmodul ist unter der Internet-Adresse <http://solidworks.cad.de> vom 12.09.2000 beschrieben, wobei in der Datenverarbeitungsanlage eine CAD-Moduleinheit, insbesondere 3D-CAD-Moduleinheit "Solidworks" (CSG-Volumenmodell, wobei CSG "Constructive Solid Geometry" bedeutet) vorhanden ist, in der im Wesentlichen Maschinensimulationen möglich sind und ein Kollisionen schnell erkennendes Simulationsmodul zur mathematisch definierten Volumenmodellierung (Volumenmodellierungssimulationsmodul) vorhanden ist. In dem Volumenmodellierungssimulationsmodul kann eine Simulation der kompletten Aufspannsituation, inklusive der Maschine, des Werkzeughalters, der Spindel, und der aktuellen Ist-Geometrie des Werkstücks durchgeführt werden, wobei eine schnelle Kollisionserkennung zwischen Körpern, insbesondere von Werkzeugen an einer Maschine, die sich in ihrer geometrischen Gestalt nicht verändern, möglich ist.

[0011] Bei der Simulation wird zumindest die betreffende Maschine auf dem Bildschirm der Eingabe-/Ausgabeeinrichtung der Datenverarbeitungsanlage modellartig abgebildet.

[0012] Ein Problem besteht darin, dass im bekannten Volumenmodellierungssimulationsmodul eine parametrische Volumenmodellierung zwar durchgeführt, aber die Beziehung des Materialabtrags zur Vorschubgeschwindigkeit nicht berücksichtigt worden ist. Insbesondere mit dem zugehörigen parametrischen Volumenmodellierungsmodul "Parasolid", das unter der Internet-Adresse <http://www.parasolid.de> vom 12.09.2000 beschrieben ist, soll ermöglicht werden, dass Körper schnell modelliert und manipuliert, Massen-, Schwerpunkts- und Durchdringungsberechnungen durchgeführt sowie Objekte in verschiedenen Darstellungsarten inkl. Bilddarstellung angegeben werden können. Die Körper werden durch deren Begrenzungselemente beschrieben, so dass schnelle und genaue Volumenberechnungen durchgeführt werden können.

[0013] Das Programmmodul Solidworks ist für den Maschinenbau, Anlagenbau, Formenbau und Industriedesign einsetzbar und stellt eine in Windows integrierte 3D-CAD-Moduleinheit für das parametrische Konstruieren dar. Solidworks ermöglicht durch die optimale Umsetzung der Konstruktionsabsicht und der notwendigen Änderungen einen sehr kurzen Konstruktionsprozess.

[0014] Dem bekannten Volumenmodellierungssimulationsmodul kann eine API-Schnittstelle (Programmierbare Anwendungs-Schnittstelle) zugeordnet sein, mit der die zugehörigen, programmtechnisch miteinander verbundenen Modulteile innerhalb des Volumenmodellierungssimulationsmoduls angesprochen werden können.

[0015] Die jeweiligen Probleme des bekannten Volumenmodellierungssimulationsmoduls und des bekannten Vorschubsimulationsmoduls in Bezug auf Kollisionen bestehen darin, dass deren Wirksamkeit im Wesentlichen nur auf das unterschiedlich durchgeführte Erkennen von Kollisionen beschränkt bleibt und programmtechnisch bedingt, unabhängig voneinander existierende Simulationsmodule darstellen.

[0016] Demzufolge können weder die bekannten Systeme mit dem abtragsbezogenen Simulationsmodul zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung noch die bekannten Systeme mit dem kollisionserkennenden Simulationsmodul zur Volumenmodellierung jeweils allein anlagenintern Bear-

beitungs-Bahnen zur Umgehung und Vermeidung von Kollisionen korrigieren. Die Behebung einer Kollision ist zwar über die Eingabe-/Ausgabeeinrichtung (Bildschirm und Tastatur) der Datenverarbeitungsanlage manuell möglich, aber nicht anlagenintern, was dazu führt, dass die Bearbeitungs-Vorgänge trotzdem ständig bildschirmseitig überwacht werden müssen.

[0017] Ein weiteres Problem der bekannten CAD-/CAM-Moduleinheiten besteht darin, dass unter Einbeziehung des bedienenden Anwenders die Berechnungszeiten und somit die Erstellungsdauer neuer Bearbeitungs-Bahnen zur Vermeidung von Kollisionen unökonomisch lang sind.

[0018] Insbesondere im Fräsbereich weisen die zur Verfügung stehenden Systeme folgende Einschränkungen auf:
15 Erstens beziehen sich die Kollisionsbetrachtungen nicht auf die während der Bearbeitung sich verändernde Werkstückgeometrie, weil nur eine Kollision zwischen Maschine und Sollgeomtrie des Werkstücks eventuell mit einem konstanten Aufmaß geprüft wird.

[0019] Zweitens werden die bekannten Kollisionen nicht behoben. Es ist immer ein Rückschritt zur CAM-Moduleinheit erforderlich, um ein neues NC-Programm zu erzeugen.

[0020] Das Bestreben, den aktuellen Bearbeitungsort zwischen Werkstück und Werkzeug sowie die zugehörigen Daten aller beteiligten Körper festzustellen, ist in der Druckschrift DE 196 07 599 A1 beschrieben, wobei im dortigen System zur Messung der aktuellen Daten des Werkzeughalters, des Werkstücks und der Maschine mehrere optische Messeinrichtungen angebracht sind, die die augenblicklichen Daten der Standorte an die zugehörige Datenverarbeitungsanlage weitergeben sollen. Die Messeinrichtungen sind aber nicht so ausgebildet, dass sie zusätzlich aufwandslos zu einer Messung des augenblicklichen Ortes des Bearbeitungs-Vorgangs führen. Im Gegenteil müssen sie wegen der Kollisionsgefahr weit entfernt vom aktuellen Ort der Bearbeitung angebracht sein, damit die Beweglichkeit der Werkzeuge nicht eingeschränkt wird und die Messeinrichtungen selbst nicht Kollisionsobjekte werden. Dadurch erscheint die Fehlerquote der Messungen groß und die jeweilige Nachjustierung der Messeinrichtungen an den verschiedenen Körpern sehr aufwendig.

[0021] Ein ähnliches System ist unter der Internet-Adresse <http://www.mech.ed.ac.uk> vom 20.09.2000 als CNC-Simulationsmodul Vericut beschrieben, mit dem das CNC-45 Programm am Computer virtuell durch Simulation überprüft werden kann, bevor es an die Werkzeugmaschine gesendet wird. Dabei können verschiedene Formate für Fräsen, Bohren, Drehen, Drahterodieren und Drehfräsen eingesetzt werden. Der NC-Programmierer als Anwender kann Fehler korrigieren, überflüssige Verfahrwege, (Werkzeugwege) eliminieren und anschließend das Programm an die Maschine geben. In dieser bekannten Technologie wird die Simulation der CNC-Maschine einschließlich Materialabtrag in einem integrierten Prozess dargestellt. Es enthält eine Methode zum Testen von NC-Bearbeitungsanwendungen in der Datenverarbeitungsanlage. Unter Berücksichtigung von Werkstückbeschreibung und des zugehörigen NC-Programmes wird die NC-Bearbeitung am Bildschirm simuliert. Vericut erstellt dabei ein Modell des fertigen Werkstücks auf dem Bildschirm der Eingabe-/Ausgabeeinrichtung. Der Anwender kann sehen, an welcher Stelle nicht korrekte Bearbeitungsbedingungen vorliegen. Als Teil des Tests wird außerdem das Volumen des fertigen Werkstücks berechnet, so dass der Materialabfallanteil deutlich erkennbar wird. Zu den Funktionen von Vericut gehört auch die vollständige grafische Kontrolle über Dimension, Platzierung und Orientierung des Rohmaterials sowie die Bilddarstellung von Frä- und Bohrvorgängen mit simultaner Bewegung von 2

bis zu 5 Achsen. Außerdem wird das Zusammenspiel traditioneller Werkzeug-Werkstück-Verifikation und Maschinen-simulation unterstützt, so dass der Anwender entscheiden kann, ob er das Werkzeug und das Werkstück auf dem Bildschirm sehen will oder zusätzlich das vollständige Maschinenmodell einschließlich der Aufspannung. Mit dem bekannten CNC-Simulationsmodul kann auf der Basis der bearbeiteten Werkstückgeometrie ein verwertbares CAD-Modell erzeugt werden. Es werden IGES-Daten, native CAD-Formate wie auch STL-Daten exportiert. So kann der Anwender die bearbeiteten Geometrien in seinem CAD-System weiter verwenden.

[0022] Ein Problem aller zur Verfügung stehenden Simulationsmodul-Lösungen besteht darin, dass in vielen Fällen zwar eine Kollision zwischen Maschine und Sollgeometrie des Werkstücks, eventuell mit einem konstanten Aufmass versehen, geprüft und festgestellt werden kann, aber die Kollisionsbetrachtungen sich nicht auf die zeitkonform tatsächliche, sich während der Bearbeitung verändernde Werkstückgeometrie beziehen. Des Weiteren werden erkannte Kollisionen nicht modul- und/oder anlagenintern behoben. Es ist ein vom Anwender gelenkter Rückschritt zur CAM-Moduleinheit notwendig, um darin ein neues NC-Programm zu erzeugen. Es läuft also dort ein iterativer Prozess mit entsprechend langen Laufzeiten ab, wobei zwischen den Bearbeitungs-Vorgängen größere Zeitabstände vorhanden sind.

[0023] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein System und ein Verfahren zur Erstellung von mehrachsigen Bearbeitungs-Vorgängen an Werkstücken anzugeben, das die zuvor genannten Probleme vermeidet.

[0024] Diese Aufgabe wird durch die in den Patentansprüchen 1, 3 und 27 angegebenen Ausführungsformen der Erfindung gelöst. Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0025] Die Erfindung hat den Vorteil, daß über das Erkennen von Kollisionen hinaus eine anlageninterne Behebung der Kollision vor der Durchführung des jeweils nächsten Bearbeitungs-Vorgangs herbeigeführt werden kann. Zusätzlich können die vorhandenen Werkzeugmaschinen, insbesondere der zur Verfügung stehende Werkzeugmaschinenpark in das System einbezogen und optimal zur Kollisionsvermeidung genutzt werden. Langzeitliche iterative Angleichungsvorgänge werden vermieden.

[0026] In dem System zur Erstellung von mehrachsigen Bearbeitungs-Vorgängen an Werkstücken gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 3 steht das Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung sowohl mit einem Hauptmodul zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen als auch mit einem Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen in Verbindung, wobei im Modul zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen das volumendiskrete Simulationsmodul zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung und ein kollisionserkennendes Simulationsmodul zur Volumenmodellierung vorhanden und miteinander programmtechnisch sowie signalkommunizierend verbunden sind, die mit einem Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung in Verbindung stehen, das seine Kollisionsbehebungssignale über das signalverbundene Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung an das Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen derart weitergibt, dass mit dessen Daten auf mindestens einer wahlweise festgelegten Werkzeugmaschine das betreffende Werkstück durch mindestens ein definiertes Werkzeug kollisionsfrei bearbeitbar ist.

[0027] Das volumendiskrete Simulationsmodul zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung und das kollisionserkennende Simulationsmodul zur Volumenmodellierung ste-

hen mit dem Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung vorzugsweise schmittstellenverkoppelt in Verbindung, wobei im Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung als Kollisionsbehebungsmittel vorzugsweise veränderbare Anstellwinkel und/oder veränderbare Auskraglängen der jeweiligen Werkzeuge dienen. Das volumendiskrete Simulationsmodul zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung weist im Wesentlichen Daten vom Werkzeug und Material auf und ist für eine Werkstückvolumenänderung, insbesondere für eine Materialabtragung, vorzugsweise Fräsen, Schruppen, Bohren und/oder für eine Materialauftragung, vorzugsweise Aufschweißen am Werkstück ausgebildet.

[0028] Zur Datenverarbeitungsanlage gehört eine zumindest mit einer Tastatur und einem Bildschirm versehene Eingabe-/Ausgabeeinrichtung, mittels der die realen und virtuellen Bearbeitungs-Vorgänge wahlweise gestartet und beendet werden.

[0029] Die betätigbare CAM-Moduleinheit enthält insbesondere im Datenbankmodul auch Daten zur Sollgeometrie der Werkstücke und Daten zu den zugehörigen Bearbeitungs-Vorgängen sowie im Datenmodul für Soll-Bearbeitungs-Bahnen neben den Soll-Bearbeitungs-Bahn-Daten auch das zugehörige Sollmaß.

[0030] Das Datenmodul für Soll-Bearbeitungs-Bahnen enthält auch die dynamischen Daten der Maschinen, insbesondere die Daten zu den Vorschubgeschwindigkeiten bezüglich der Materialvolumenänderungen am Werkstück sowie die Werkstückrohdaten und die Werkzeugdaten.

[0031] Das schnell Kollisionen erkennende Simulationsmodul zur Volumenmodellierung enthält Daten zur Definition der Werkzeugmaschinen, zu deren geometrischen Aufbau und zu den zugehörigen Bewegungsmöglichkeiten sowie Daten zur kompletten Aufspannsituation, zum Werkzeughalter, zur Spindel und zur aktuellen Werkstückrohteileigenschaften.

[0032] Das Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übernimmt die ermittelten kollisionsfreien Bahnkoordinaten und zugehörigen Daten aus dem Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung und übermittelt die Daten an die jeweilige Werkzeugmaschine zur Durchführung der auf ihr stattfindenden, wahlweise korrigierten oder ursprünglich kollisionsfreien Bearbeitungs-Vorgänge.

[0033] Das Hauptmodul zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen kann als ein Regelkreis zur automatischen Erzeugung von kollisionsfreien Bearbeitungs-Bahnen ausgebildet sein, wobei insbesondere zur Erstellung von mehrachsigen Bearbeitungs-Vorgängen an einem Werkstück mittels Werkzeuge im Rahmen eines Maschinenparks mit mehreren Werkzeugmaschinen im Wesentlichen die CAM-Moduleinheit, das Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung, das Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen sowie das Hauptmodul zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen beteiligt sind und wobei vom Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen die übernommenen und gespeicherten Daten von kollisionsfreien Bearbeitungs-Bahnen in Koordinatenform/Vektorform dem Werkzeug bzw. dem Werkzeughalter, dem Spannmittel des betreffenden Werkstücks und der betriebenen Werkzeugmaschine signaltechnisch mitteilbar sind.

[0034] Das Hauptmodul zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen enthält das kollisionserkennende Simulationsmodul zur Volumenmodellierung, das volumendiskrete Simulationsmodul zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung (Vorschubsimulationsmodul) sowie das Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung mit dem zugehörigen Zusammenspiel der darin befindlichen Pro-

gramme, wobei das Zusammenspiel über eine zum Vorschubsimulationsmodul vorzugsweise zugehörige Schnittstelle erfolgen kann, und des Weiteren ein Vergleichsmodul zur Durchführung eines Vergleiches zwischen Soll-Bahn und der tatsächlichen Ist-Bahn während eines laufenden realen und/oder eines virtuellen Bearbeitungs-Vorganges sowie ein Feststellmodul zur Feststellung von Kollisionsdaten.

[0035] Dem Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung kann im Wesentlichen eine zum Regelkreis gehörende Regelstrecke, in der Stellgrößen operieren, zwischen dem Feststellmodul und dem Vergleichsmodul zugeordnet sein.

[0036] Das Hauptmodul zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen weist in dynamischer Hinsicht den Kollisionsbehebungs-Regelkreis auf, wobei das Volumenmodellierungssimulationsmodul und das Vorschubsimulationsmodul als vereintes hybrides Simulationsmodul durch den Steuerungsprozess der Datenverarbeitungsanlage im Rahmen des Kollisionsbehebungsprozesses im Regelkreis verbunden sind.

[0037] Zum Zusammenspiel innerhalb des hybriden Simulationsmoduls tragen vorzugsweise ein zugehöriges Zuordnungsmodul für virtuelle Maschinendaten der drei Werkzeugmaschinen sowie ein Zuordnungsmodul für virtuelle Anstellwinkel und/oder virtuelle Auskraglängen der Werkzeuge und ein Zuordnungsmodul für virtuelle Werkstückdaten bei, wobei die realen Daten in der Datenverarbeitungsanlage mit den virtuellen Daten in den Zuordnungsmodulen proportional übereinstimmen.

[0038] Alle beteiligten und genannten Module enthalten wahlweise sowohl Daten als auch Programme zur Verarbeitung eingehender und vorhandener Daten, wobei die Programme wahlweise zusätzliche, mit den anderen Modulen kommunizierende Unterprogramme und/oder Schnittstellenprogramme aufweisen.

[0039] Die Simulationsprogramme, bei denen insbesondere die realen und virtuellen Daten zum Zusammenspiel mit den verbundenen Modulen beitragen, weisen Daten, insbesondere sowohl Soll-, Ist- als auch Toleranzdaten aller beteiligten Körper auf, wobei die in der Simulationsmodulen erzeugten virtuellen Modelle in die reale Daten enthaltenen Module eingespeichert und von dort als real umsetzbare Daten abrufbar sind.

[0040] Vorzugsweise ist das volumendiskrete Simulationsmodul zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung durch Untermodule zur Rücksetzung der Simulation auf einen vorgegebenen Punkt, zum Schreiben eines veränderten NC-Programms sowie zur Mitführung einer Booleschen Matrix zur Verwaltung der veränderten NC-Bahn erweiterbar sowie enthält wahlweise eine Schnittstelle zum Abgreifen der Höheninformationen der diskreten Modellsäulen, vorzugsweise der Nagelbrettausbildungen.

[0041] Zwischen dem Volumenmodellierungssimulationsmodul und dem Vorschubsimulationsmodul ist ein Untermódul zur Kommunikation, vorzugsweise zur Interprozesskommunikation vorhanden.

[0042] Es ist ein Kollisionsvermeidermodul vorgesehen, das programm- und signaltechnisch mit der CAM-Modul-einheit, insbesondere mit dem Datenmodul für Soll-Bearbeitungs-Bahnen und dem Datenbankmodul sowie dem Simulationsmodul zur parametrischen Volumenmodellierung verbunden ist, wobei vom Simulationsmodul zur parametrischen Volumenmodellierung insbesondere sowohl Datenpakete zur Maschinbeschreibung als auch Datenpakete zur Kollisionsobjektdarstellung an das Kollisionsvermeidermodul signaltechnisch übermittelt werden, wobei der Kollisionsvermeidermodul im Wesentlichen der programm- und signaltechnischen Vereinigung der Module – Modul zur Da-

tenaufbereitung und -synchronisierung, Vergleichsmodul, Vorschubsimulationsmodul, Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung, Festellmodul – entspricht.

[0043] Der Kollisionsvermeidermodul steht mit einem Untermódul mit einer Kollisionsvermeidungsheuristik in Verbindung, das im Wesentlichen programmtechnische Kollisionsobjekt-/paar-Vermeidungsdialoge enthält, wobei vom Kollisionsvermeidermodul aus Daten über das Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen in einem kollisionsfreien NC-Programm an die zutreffende Werkzeugmaschine weitergeleitet werden.

[0044] Die Hauptträger des Kollisionsvermeidermoduls sind das Vorschubsimulationsmodul und ein Untermódul zur volumenorientierten Kollisionsprüfung, Gas Teil des

Volumenmodellierungsmoduls ist, das vorzugsweise ein parametrisches Volumenmodellierungsmodul enthält, wobei ein Bindeglied zwischen dem Untermódul zur volumenorientierten Kollisionsprüfung und dem Untermódul zur parametrischen Volumenmodellierung ein Untermódul zur Maschinenaufbereitung ist, in dem eingehende Datenpakete zur Maschinbeschreibung und zur Kollisionsobjektdarstellung aus dem Zuordnungsmodul für virtuelle Maschinendaten in ausgehende Datenpakete zur modifizierten Maschinenaufbereitung und in ausgehende Datenpakete zur Darstellung modifizierter Kollisionsobjekte/-paare umgewandelt sind, wobei die Datenpakete Eingangsgrößen des Untermoduls zur volumenorientierten Kollisionsprüfung darstellen.

[0045] Weitere Eingangsgrößen des Untermoduls zur volumenorientierten Kollisionsprüfung sind Datenpakete für Verfahrbewegungen der Werkzeuge während der Bearbeitungs-Vorgänge sowie Datensignale aus dem Untermódul für diskrete Werkstückmodelle des Zuordnungsmoduls für virtuelle Werkstückdaten, wobei das Untermódul zur volumenorientierten Kollisionsprüfung mit einem Modifizierermodul verbunden ist, das Kollisionsinformationsdatenpakete zu den Verfahrbewegungen erhält und diese in Form von Datenpaketen mit modifizierten Verfahrbewegungen dem Vorschubsimulationsmodul mit einem darin enthaltenen Untermódul zur Werkstückvolumenänderung übermittelt, wobei eine Modifizierung der Verfahrbewegungen dann erfolgt, wenn aus einem verbundenen Untermódul mit Kollisionsvermeidungsheuristik entsprechende Datensignale zur Änderung der Verfahrbewegungen übernommen werden, und wobei aus dem Untermódul zur Werkstückvolumenänderung heraus die korrigierten Bearbeitungs-Vorgänge an das Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übermittelt werden, von dem aus Datensignale an die zutreffende Werkzeugmaschine gesendet werden.

[0046] Die Hauptträger zur Abarbeitung der Datenpakete und Programme im Untermódul zur volumenorientierten Kollisionsprüfung sind das Modul zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen, das Modul für eine potentielle Kollisionsmatrix sowie das Modul zur Speicherung der aktuellen Kollisionsmatrix inklusive des Kollisionsvolumens, wobei das Vorschubsimulationsmodul mit den weiterleitbaren Datenpaketen für Verfahrbewegungen sowie das Untermódul zur Maschinenaufbereitung mit dem ausgehenden Datenpaket zur modifizierten Maschinenaufbereitung und die Datei aus dem Modul für eine potentielle Kollisionsmatrix ein Untermódul zur paarweisen Kollisionsermittlung bilden, das mit dem Modul zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix datenzuleitend und mit dem Modul zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen datenaufnehmend in Verbindung steht.

[0047] Es ist ein Untermódul zur Aktualisierung von Volumen-Werkstückmodellen vorhanden, das ein Submodul

zum Aufbau einer Quadtreestruktur, ein Submodul zur Ermittlung beteiligter Körper, ein Submodul zur Aktualisierung von Z-Werten und ein Submodul zur Korrektur einer Kollisionsmatrix, deren Daten dem Modul zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix übermittelt werden, enthält.

[0048] Des Weiteren ist ein Modifizierermodul vorhanden, das im Wesentlichen dem Regelkreis eines anlageninternen Kollisionsbehebungsprozesses zugeordnet ist und das ein Submodul zur Bestimmung eines Gesamt-Kollisionsvolumens, ein Submodul zur Bestimmung von Anstellwinkel/von Auskraglänge und ein Submodul zur Bestimmung eines Rücksetzpunktes mit einem Datenpaket bzw. Datensignal zum Rücksetzen enthält, das wahlweise zum Vorschubsimulationsmodul übermittelt wird, wobei von außerhalb mit dem Submodul zur Bestimmung eines Gesamt-Kollisionsvolumens die Datenpakte mit Kollisionsinformationen, die Untermodule mit Kollisionsvermeidungsheuristik und ein Submodul für abschnittsweise Kollisionsinformationen in Verbindung stehen und wobei die inneren Submodule zur Bestimmung von Anstellwinkel/von Auskraglängen und zur Bestimmung eines Rücksetzpunktes vorgesehen sind und mit dem Vorschubsimulationsmodul zum einen über die Datenpakte mit korrigierten Verfahrbewegungen und zum anderen über das Datenpaket zum Rücksetzen verbunden sind, und wobei vom Vorschubsimulationsmodul die Datenpakte in das Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen geführt und von da aus die Bearbeitungs-Vorgänge der Werkzeugmaschinen gesteuert werden.

[0049] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erstellung von mehrachsigen Bearbeitungs-Vorgängen an Werkstücken auf mindestens einer Werkzeugmaschine mittels mindestens eines Werkzeuges besteht darin, dass ihm ein Algorithmus zur Werkstückvolumenänderungssimulation, insbesondere zur Abtragsimulation sowie zur volumenorientierten Kollisionsprüfung, zur Modifikation und zur Rücksetzung für ein NC-Programm innerhalb einer algorithmischen Verzahnung von Werkstückvolumenänderungssimulation und Volumen-Kollisionsprüfung zugrunde liegt und dass aus einer der CAM-Moduleinheit zugeordneten originalen NC-Datei eines Datenmoduls für Soll-Bearbeitungs-Bahnen, vorzugsweise eines ersten NC-Bahn-Datenmoduls automatisch und anlagenintern eine kollisionsfreie NC-Bahn-Datei erstellt wird, die in das Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen, insbesondere einem zweiten NC-Bahn-Datenmodul über einen zwischengeschalteten programmierten Datenaufbereitungs- und Synchronisationsprozess in das Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung übermittelt wird.

[0050] Der Ablauf der Werkstückvolumenänderungssimulation, der volumenorientierten Kollisionsprüfung, der Modifikation und der Zurücksetzung wird innerhalb der algorithmischen Verzahnung von Abtragsimulation und Volumen-Kollisionsprüfung quasi parallel durchgeführt, wobei für jeden NC-Satz sowohl die Werkstückvolumenänderungssimulation als auch die volumenorientierte Kollisionsprüfung auch mit dem Ergebnis, dass bei Kollisionen ein Zurücksetzen im NC-Programm erforderlich ist, erfolgt.

[0051] Die anlageninterne Kollisionsbehebung erfolgt durch die Simulation von Werkzeug und Werkstück mit schnellem diskretem Abtragsmodell und die Simulation der kompletten Aufspansituation inkl. Maschine, Werkzeughalter, Spindel und aktueller Rohteilgeometrie mit schnellem Kollisionsmodell (z. B. CSG-Volumenmodell) in einem parallelen Prozess und läuft über einem Steuerungsprozess in der zugehörigen Datenverarbeitungsanlage mit einem Kollisionsbehebungsprozess programm- und signaltech-

nisch verbunden ab.

[0052] Zur Vermeidung von Kollisionen bei realen und/oder Bearbeitungs-Vorgängen wird im Rahmen der Fertigung eines Werkstücks eine Simulation ausgelöst, bei der die Maschinendynamik, die Maschinengeometrie, das Werkzeug, die Werkzeugaufnahme, die Aufspannung und die aktuelle Rohteilgeometrie – die Istgeometrie – des Werkstücks vor oder zu jedem Zeitpunkt der Fertigung derart berücksichtigt werden, dass ein Prozess zur Behebung der Kollision stattfindet.

[0053] Der Kollisionsbehebungsprozess kommuniziert bei auftretender Kollision unter dem Kriterien einer Windeloptimierung von Anstellwinkel und/oder einer Werkzeugverlängerung bezüglich der Auskraglänge mit beiden Simulationsmodellen und nimmt unter Berücksichtigung der Sollgeometrie nach dem Bearbeitungsschritt, der aktuellen Rohteilgeometrie, der Aufspansituation und der Maschinendynamik eine Korrektur der tatsächlichen, jeweils vorliegenden NC-Bahnen vor.

[0054] Die tatsächliche Werkstückgeometrie, der Istwert, liegt zu jedem Zeitpunkt eines Bearbeitungs-Vorgangs zur Auswertung vor.

[0055] Bei Ablauf des programmierten Datenaufbereitungs- und Synchronisationsprozesses werden Daten aus dem Datenbankmodul für Maschine, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe etc. Daten aus dem Vorschubsimulationsmodul, Daten aus dem Volumenmodellierungsmodul, Daten aus dem Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung mit einer Einstellung von Anstellwinkel und/oder von Auskraglängen entnommen, wobei der Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung mit dem Vorschubsimulationsmodul und dem Volumenmodellierungsmodul derart kommuniziert, dass unter Berücksichtigung der Soll-Geometrie aus der CAM-Moduleinheit nach jedem Bearbeitungs-Vorgang Daten der aktuellen Rohteilgeometrie (Ist-Geometrie), der Aufspansituation und der Maschinendynamik dem Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung übermittelt werden und dort eine wahlweise Kollisionskorrektur des nächsten Bearbeitungs-Vorganges und somit der NC-Bahn erfolgt, wobei die Korrekturdaten im Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung über das Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung dem Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen zugeführt werden, aus dem Befehle und Daten für den nächstfolgenden Bearbeitungs-Vorgang am Werkstück auf der Werkzeugmaschine bereitgestellt werden.

[0056] Die beiden Simulationsmodule, das Volumenmodellierungssimulationsmodul und das Vorschubsimulationsmodul, werden zu einem "hybriden" Simulationsmodul vereinigt und programm- und signaltechnisch derart miteinander verbunden, dass die hohe Verarbeitungsschnelligkeit des Vorschubsimulationsmoduls und die hohe Erkennungsgeschwindigkeit des Volumenmodellierungssimulationsmoduls zumindest beibehalten und genutzt werden, wobei vorzugsweise eine Schnittstelle als eine diese Eigenschaften unterstützende Daten-Durchgangs- und -Verteilungsstelle vorhanden ist, über die die beiden Simulationsmodule – Volumenmodellierungssimulationsmodul und Vorschubsimulationsmodul – gegenseitig Informationen austauschen.

[0057] Weitere Module werden von außerhalb durch eine additive Programmierung der Schnittstelle an das Volumenmodellierungssimulationsmodul angeschlossen und kommunizieren mit ihm.

[0058] Die Daten aus dem Datenbankmodul für Maschine, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe und dem Datenmodul für Soll-Bearbeitungs-Bahnen werden über das Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung in den

Hauptmodul zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen übermittelt und über das Vergleichsmodul dem hybriden Simulationsmodul zugeführt, wobei im Feststellmodul zur Feststellung von Kollisionsdaten die Kontrolle auf Kollisionen erfolgt und bei Erkennung von Kollisionen vom Feststellmodul zunächst im Simulationsprozess der Regelkreis durchlaufen wird, bis die Kollision nicht mehr auftritt oder eine vorgegebene Weglänge überschritten ist.

[0059] Der dem Hauptmodul zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen zugeordnete, in dem Regelkreis enthaltene Kollisionsbehebungsprozess nimmt bei festgestellter Kollision der beteiligten Körper und Maschinen in dem Feststellmodul zur Feststellung von Kollisionsdaten unter den Kriterien der Optimierung des Anstellwinkels des betreffenden Werkzeugs und der Einstellung der Auskraglänge des gleichen Werkzeugs im Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung bei signaltechnischem Datenaustausch und der Kommunizierung der Simulationsmodule untereinander und in dem Vergleichsmodul unter Berücksichtigung der Sollgeometrie nach jedem Bearbeitungs-Vorgang, der aktuellen Werkstückrohteilgeometrie, der Aufspansituation und der Maschinenkinematik eine automatische Korrektur der kollisionsbehafteten Bearbeitungs-Bahn vor, deren Daten an das Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übermittelt werden.

[0060] Vorzugsweise sind Anstellwinkel und/oder Auskraglänge die Stellgrößen auf der Regelstrecke des Regelkreises, deren Daten das Vergleichsmodul von dem Feststellmodul über die Regelstrecke übermittelt erhält, die die zutreffenden Daten und Koordinaten/Vektoren bei Kollisionsfreiheit – Toleranzwert K ist gleich oder sehr nahe Null – in das Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übermittelt, wobei der Toleranzwert K von Anfang an den Wert Null aufweisen kann, was auf keine Kollision hinweist, oder bei Kollision – der Toleranzwert K ist ungleich Null – nach mindestens einem Durchlauf bzw. einer schnell durchgeföhrten Durchlauffolge im Regelkreis durch Änderung der Stellgrößen der ursprüngliche Toleranzwert K nahe Null oder gleich Null geführt wird.

[0061] Aus den Daten einer vorgegebenen Soll-Bahn und einer momentan festgestellten Ist-Bahn des Werkzeugs wird eine nachfolgende Bearbeitungs-Bahn erhalten, auf der die Führung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück und der Werkzeugmaschine kollisionsfrei ist, wobei aus den maschinenunabhängigen Daten der Soll-Bearbeitungs-Vorgänge durch das hybride Simulationsmodul maschinenabhängige, maschinenbezogene Bearbeitungs-Bahnen automatisch anlagenintern erzeugt werden. Das aufgetretene Kollisionsvolumen sowie die Informationen der beteiligten Komponenten werden vorzugsweise in dem Feststellmodul zur Feststellung von Kollisionsdaten gespeichert und verarbeitet und nachfolgend erfolgt eine Korrektur des ursprünglichen NC-Programms.

[0062] Bei Kollision wird durch Variation des Anstellwinkels und Vorgabe von Heuristiken sowie durch Variation der Auskraglänge zuerst versucht, durch Anstellwinkeländerung eine Kollisionsvermeidung mittels heuristischer Angaben zu realisieren, die in einem Untermodul mit Kollisionsvermeidungsheuristik vorgegeben gespeichert werden, wobei bei Auftreten zu vieler Anstellwinkeländerungen auf einer gegebenen Weglänge oder bei Nichtbehebung der Kollision durch Anstellwinkeländerung die Auskraglänge variiert bzw. erhöht wird.

[0063] Bei Durchlauf des Regelkreises zur anlageninternen Kollisionsbehebung kann die Simulation an einen vorgegebenen Punkt des Feststellmoduls im NC-Programm des Vergleichsmoduls zurückgesetzt werden.

[0064] Zur Erkennung einer Kollision der Werkzeuge, der

Maschinenteile, der Maschinen mit einem Werkstück wird ein Abbild eines diskreten Werkstückvolumenmodells aus dem Vorschubsimulationsmodul in einem CSG-Volumenmodell des Volumenmodellierungssimulationsmoduls realisiert, wobei das CSG-Volumenmodell im Volumenmodellierungssimulationsmodul in Form von Quadern zusammengesetzt wird, wobei die Quadern die gleiche Höhe und verschiedene Lagen im Raum aufweisen und die XY-Position der Quadern ähnlich einem Schachbrett muster äquidistant verteilt ist, wobei sich deren Höhe aus der Höhe des Werkstücks im diskreten Volumenmodell des Werkstücks ergibt.

[0065] Vorzugsweise wird eine Baumstruktur implementiert, die eine Vorauswahl der potentiellen Kollisionsobjekte ermöglicht.

[0066] Bei mehrachsigen, insbesondere bei 3+2-achsigen Werkzeugbewegungen wird das erfundungsgemäße System implementiert, welches die Bearbeitung mit angestellten Achsen simuliert und korrigiert, wobei sich die Änderung der Anstellwinkel auf den jeweiligen Endpunkt eines NC-Satzes beschränkt, d. h., während der Simulation eines NC-Satzes werden die Anstellwinkel nicht variiert, wobei die Anstellwinkel sich auf eine Anstellung des Werkzeugs beziehen, wobei insbesondere die im NC-Programm angegebenen Winkel A, B und C das jeweilige Werkzeug um die X-, Y- und Z-Achse drehen.

[0067] Es wird vorzugsweise eine möglichst schmale Schnittstelle zur Materialabtrag-/auftragsimulation realisiert, die wahlweise austauschbar ist.

[0068] Die Anzeige der Verfahrerbewegungen der Werkzeugmaschine inkl. des sich verändernden Werkstücks wird derart durchgeführt, dass aus der Menge der Objekte (Maschine, Spannmittel, Werkstück) eine vorgebbare Untergruppe gebildet wird, die in vorgebbaren Zeitabständen visualisiert wird.

[0069] Zur Visualisierung der Maschinenbewegung wird die Menge der darzustellenden Objekte des Werkstücks von der Menge der auf Kollision zu prüfenden Objekte derart entkoppelt, dass eine schmale Datenkopplung zwischen diskretem Werkstückmodell und einem CSG-Volumenmodell herbeigeführt und eine Boolesche Matrix mitgeführt wird, die festhält, an welchen Stellen des diskreten Werkstückmodells ein Abtrag oder Auftrag stattgefunden hat.

[0070] Eine potentielle Kollisionsmatrix ist vorzugsweise in tabellarischer Form mit einer Horizontalleiste Di und einer Vertikalleiste Ej für eine Werkzeugmaschine, insbesondere für eine NC-Fräsmaschine ausgebildet, in der vorzugsweise Kollisionsobjekte – insbesondere Stützen, Querträger, Spindel, Werkzeughalter, Werkzeug, Spannelemente, Werkstück – als Kollisionsobjektpaare Di-Ej den Rahmen bilden, wobei in der Kollisionsmatrix festgelegt wird, welche Objekte auf paarweise Kollision prüfbar sind.

[0071] Die Werkzeugmaschinen sind in Gruppen unterteilt und ähnlich der Kollisionsmatrix mittels der Datenpakete zur Maschinenbeschreibung sowie des Untermoduls zur Maschinenaufbereitung ausgebildet.

[0072] Für die Kollisionsobjekte Di, Ej werden Dialoge erstellt, die die Gruppierung einzelner Objekte im Volumenmodellierungssmodul wahlweise festlegen, wobei sowohl die Gruppierungen geladen, gespeichert und modifiziert als auch die zur Definition sämtlicher möglicher Kollisionsobjektpaarungen zugeordneten Dialoge eingespeichert werden, wobei zu den einzelnen Kollisionsobjektpaaren aus dem Untermodul zur Kollisionsvermeidungsheuristik zugehörige, fest implementierte Modifikationsheuristiken ange wählt werden.

[0073] Durch die Zuordnung je nach Kollisionsobjektpaarung können unterschiedliche Ausweichstrategien verfolgt werden, wobei eine direkte Verbindung zwischen dem Un-

termodul zur Maschinenaufbereitung und dem Modifizierermodul über das Untermodul zur volumenorientierten Kollisionsprüfung aufgebaut wird.

[0074] Zur Kollisionsmatrixerstellung mittels der Datenpakete für Kollisionsobjekte bzw. für modifizierte Kollisionsobjekte werden die erhaltenen Datenpakete zur Erstellung einer potentiellen Kollisionsmatrix unter Mithilfe der Datenpakete zur modifizierten Maschinenbeschreibung und der Datenpakete für Verfahrbewegungen an das Modul für eine potentielle Kollisionsmatrix übermittelt, wobei das Untermodul zur paarweisen Kollisionsermittlung die ermittelten Ergebnisse dem Modul zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix zuführt.

[0075] Mittels der Informationen und Daten aus dem Modul für diskrete Werkstückmodelle und aus dem Modul zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen sowie aus dem Modul zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix wird in dem Untermodul zur Aktualisierung von Volumen-Werkstückmodellen die Aktualisierung des Volumen-Werkstückmodells durchgeführt, wobei die aktuellen Datenpakete erstens zurück an das Modul zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix übermittelt und nach Verarbeitung als Kollisionsinformationen an das Modifizierermodul übertragen und zweitens an das Modul zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen zu dessen Aktualisierung geführt werden.

[0076] Anhand der potentiellen Kollisionsmatrix wird die Kollisionsberechnung durchgeführt, wobei unterschieden wird, ob eine Kollision mit oder ohne Beteiligung des Werkstücks berechnet wird, wobei vorzugsweise eine Prüfung anhand von Bounding-Boxen vorgenommen und anschließend je nach Bedarf eine komplette Kollisionsprüfung mit Routinen des Volumenmodellierungssimulationsmoduls durchgeführt wird.

[0077] Im Prozess "Volumen-Werkstückmodell aktualisieren" werden infolge einer Einbeziehung sowohl der virtuellen als auch der realen Daten der Werkzeugmaschinen durch das Auftreten von endlichen Genauigkeiten die Ungenauigkeiten bei der Kollisionsermittlung berücksichtigt, wobei die Werkzeugmaschinen um einen bestimmten proportionalen Betrag vergrößert werden, indem sämtliche Teile um einen Faktor skaliert werden.

[0078] Das Modul zur Speicherung der aktuellen Kollisionsmatrix übermittelt Informationen an das Submodul zur Ermittlung beteiligter Körper, das ebenfalls Informationen aus dem Modul zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen erhält.

[0079] Das Submodul zum Aufbau einer Quadtreestruktur erhält Daten aus dem Modul für diskrete Werkstückmodelle und Daten aus dem Modul zum Aufbau einer Quadtreestruktur, deren Ergebnis an das Modul zur Speicherung des Volumen-Werkstückmodells rückübermittelt wird, und das Submodul zur Aktivierung von Z-Werten erhält Informationen aus dem Submodul zur Ermittlung beteiligter Körper und übermittelt das Ergebnis sowohl an das Modul zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen als auch an das Submodul zur Korrektur einer Kollisionsmatrix, wobei Datenpakete mit Kollisionsinformationen das Modul zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix in Richtung Modifizierermodul verlassen.

[0080] Aus dem ermittelten Gesamt-Kollisionsvolumen einer Teilstrecke wird gemäß der Kollisionsvermeidungsheuristik eine Modifikation der Parameter/Stellgrößen – Anstellwinkel und/oder Auskraglänge – vorgenommen, wobei die Kollisionsvermeidungsheuristik oder eine Menge von Heuristiken für verschiedene Kollisionsobjektpaarungen implementiert werden, wobei im Falle einer Variation der Anstellwinkel bei zylindrischen und torischen Fräsern eine

Korrektur der Bahn vorgenommen wird, um Unterschnitte zu vermeiden, wobei das Werkzeug in eine von dem Anwender selektierbare Richtung, z. B. in Richtung der ursprünglichen Werkzeugachse, verschoben wird.

5 [0081] Der Simulationsablauf mit der Änderung des Volumens eines Werkstücks wird wahlweise parallel zu den realen Bearbeitungs-Vorgängen oder vor der Realisierung der Bearbeitungs-Vorgänge am Werkstück durchgeführt, um zu kontrollieren, ob Kollisionen vorliegen, die je nach Bedarf eine Erweiterung des Maschinenparks und/oder einer Werkzeugpalette bedingen.

[0082] Ein ursprüngliches NC-Programm aus dem Datenmodul für Soll-Bearbeitungs-Bahnen wird im Wesentlichen mit einer Verwaltung, insbesondere einer Rücksetz-Verwaltung versehen, an die auch die NC-Satzspeicher geführt werden, wobei für den i-ten Bearbeitungs-Vorgang der i-te NC-Satz aus dem Satzspeicher ausgelesen und im Vorschubsimulationsmodul die zugehörige Werkstückvolumenänderungssimulation, in der die Nägel gemäß einem verwendeten Nagelbrettmodell abgeschnitten werden, durchgeführt wird.

[0083] Die der Werkstückvolumenänderungssimulation, vorzugsweise der Abtragssimulation zugeordnete volumenorientierte Kollisionsprüfung für den i-ten NC-Satz kann im

25 Untermodul zur volumenorientierten Kollisionsprüfung ergeben, dass Kollisionsfreiheit mit dem Toleranzwert K gleich Null vorliegt und durch das positive Signal der nächste i+1-NC-Satz aus dem NC-Satzspeicher ausgelesen werden kann, oder dass eine Kollision mit einem Toleranzwert

30 K ungleich Null vorliegt, wodurch dann durch das negative Signal die Modifikation der Anstellwinkel des Werkzeugs initiiert wird, wobei die Modifikation der Anstellwinkel des Werkzeugs unter Verwendung einer fest eingebauten Heuristik im Untermodul zur Kollisionsvermeidungsheuristik erfolgt, wodurch sich eine Modifikation der Bahn zur Kollisionsvermeidung im i-j-ten Abschnitt ergeben kann, wobei das Informationssignal den i-ten NC-Satz ändert, wobei die Modifikation der Bahn durch die Berechnung der Verschiebung für einen vorgegebenen Winkel erfolgt, wobei vorzugsweise die Verschiebung in Z-Richtung oder in Richtung der veränderten oder ursprünglichen Werkzeugachse erfolgt oder falls die bisherigen Modifikationsparameter für den i-j-ten Abschnitt von der Modifikation der Anstellwinkel übernommen werden, erfolgt nur eine Modifikation der Bahn in

40 Richtung der ursprünglichen Werkzeugachse, wobei eine Korrektur der i-ten NC-Bahn zur Vermeidung von Unterschnitten bei torischen und zylindrischen Werkzeugen vorgenommen wird.

[0084] Prinzipiell werden zur Kollisionsvermeidung zwei 50 Parameter nach den Bearbeitungs-Vorgängen definiert: Die Anstellwinkel und die Auskraglänge. Bei hinterschnittfreien Werkstücken kann durch eine Erhöhung der Auskraglänge immer eine Kollisionsfreiheit erzielt werden. Dies führt jedoch aufgrund der Werkzeugabdrängung zu ungünstigen 55 Bearbeitungs-Vorgängen. Somit gilt es, durch Variation der Anstellwinkel eine kollisionsfreie Bewegung bei möglichst kurzer Auskraglänge zu realisieren.

[0085] Zusätzlich bestehen zwei weitere Randbedingungen, wobei erstens der Anstellwinkel zwischen Werkzeug 60 und Flächennormale des Werkstücks annähernd konstant bleiben soll, um möglichst günstige Schnittbedingungen zu erzielen, und wobei zweitens das System mit möglichst wenigen Änderungen der Anstellwinkel auskommen soll, um abrupte Änderungen zu vermeiden.

[0086] In dem erfindungsgemäßen System liegt eine Kombination eines diskreten Vorschubsimulationsmoduls (diskretes Volumenmodell) mit einem Volumenmodellierungssimulationsmodul (CSG-Volumenmodell) vor, wobei

beim diskreten Volumenmodell im Vergleich zum CSG-Werkstückmodell die Rechenzeit zur Simulation unabhängig von der Komplexität des Werkstücks ist. Dieser Aspekt ist bei den im Werkzeug- und Formenbau üblichen Werkstückgeometrien und der Größe der NC-Programme von entscheidender Bedeutung. CSG-Werkstückmodelle sind dagegen weit verbreitet und sind auch in der Lage, die Maschinenkinematik abzubilden. Durch die Kombination der beiden Module wird ein Abbild von diskreten Volumenmodellen zu CSG-Volumenmodellen realisiert, wobei die effiziente Abbildung der zentrale Bestandteil des erfindungsgemäßen Systems ist.

[0087] Bei der Ermittlung der Kollisionen werden sämtliche sich relativ zu einander bewegende Teile, d. h., Werkstück, Spannmittel und Maschinentisch auf der einen Seite und Werkzeug, Schaft, Spannfutter, Spindelkasten auf der anderen Seite, berücksichtigt.

[0088] Die Erfindung eröffnet damit die Möglichkeit, kollisionsfreie und prozesssichere NC-Bahnen für die Bearbeitung zu erreichen, was dadurch entsteht, weil für das System im Detail als Eingangsgrößen die NC-Bahnen aus einer CAM-Moduleinheit für mehrachsige Bearbeitung, insbesondere für 3-, 3+2- und 5-achsige Bearbeitungs-Vorgänge sowie eine vollständige Daten-Beschreibung der Werkzeugmaschine inklusive der aktuellen Aufspansituation verwendet werden.

[0089] Die Erfindung hat den weiteren Vorteil, dass mit Hilfe des vereinigten hybriden Simulationsmoduls aus einer diskreten Werkstückvolumenänderungs-Simulation und einer Maschinen-Aufspannung-Werkzeug-Bewegungs-Simulation mit einem CSG-Volumenmodell die originalen und somit mit hoher Wahrscheinlichkeit kollisionsbehafteten NC-Bahnen in die kollisionsfrei nachfolgenden NC-Bahnen derart schnell berechnet umgewandelt werden können, dass das Werkstück vom Werkzeug für eine beliebig definierbare Werkzeugmaschine mit gleich hoher Wahrscheinlichkeit abweichend vom originalen Bearbeitungs-Vorgang bearbeitet werden kann.

[0090] Außerdem können dadurch die Werkstück-Bearbeitungszeiten verkürzt und die personell manuellen Betreuungs- und Bearbeitungszeiten minimiert werden.

[0091] Mit der Erfindung liegt ein System zur Erkennung und Vermeidung von Kollisionen insbesondere beim fünfachsigen Bearbeiten komplexer Geometrien mittels miteinander verbundenen Softwaremodulen vor. Auf Basis der in der CAM-Moduleinheit erzeugten NC-Programme, der Werkstückgeometrie und der Maschinenkonfiguration werden die Bearbeitungs-Vorgänge simuliert. Durch die Simulation ist auch ein anlageninternes, automatisches Vor-Eingreifen in einen nachfolgend realen Bearbeitungs-Vorgang möglich, bevor Kollisionen in den realen Bearbeitungs-Vorgängen auftreten können und hohe Kosten durch Reparaturmaßnahmen und Stillstandszeiten verursachen können. Weiterbildungen und verbesserte Ausbildungen der Erfindung werden in weiteren Unteransprüchen beschrieben.

[0092] Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels mittels mehrerer Zeichnungen näher erläutert werden:

[0093] Es zeigen:

[0094] Fig. 1 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Systems,

[0095] Fig. 2 eine schematische Darstellung des Systems mit drei Werkzeugmaschinen mittels Simulation unter Einbeziehung einer Datenverarbeitungsanlage mit zugehörigen Modulen und darin gespeicherten Dateien und Programmen,

[0096] Fig. 3 eine Grobstruktur der Datenflüsse des erfindungsgemäßen Systems,

[0097] Fig. 4 eine Detaillierung der Datenflüsse nach Fig. 3,

[0098] Fig. 5 eine tabellarische Form einer potentiellen Kollisionsmatrix,

[0099] Fig. 6 eine schematische Detaillierung der Datenflüsse der volumenorientierten Kollisionsprüfung,

[0100] Fig. 7 eine Detaillierung der Datenflüsse der Aktualisierung des Volumen-Werkstückmodells,

[0101] Fig. 8 eine schematische Detaillierung der Datenflüsse des Modifizierers und

[0102] Fig. 9 eine Grobstruktur des Algorithmus zur Werkstückvolumenänderungs-Simulation, zur volumenorientierten Kollisionsprüfung, zur Modifikation und zur Rücksetzung.

[0103] Teile mit gleichen Funktionen weisen im Folgenden gleiche Bezugszeichen auf.

[0104] Das in Fig. 1 in allgemeiner Form gezeigte System 1 zur Erstellung von mehrachsen Bearbeitungs-Vorgängen an einem der Werkstücke 2, 3, 4 mittels einem der Werkzeuge 9, 10, 11 auf einer der Werkzeugmaschinen 12, 13, 14 bezieht eine zur Prozesssteuerung vorgesehene, gespeicherte Module enthaltende, programmierbare Datenverarbeitungsanlage 5, in der zumindest eine CAM-Moduleinheit 6, die ein Datenbankmodul 16 für Maschinen, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe und dergleichen Daten und ein Datenmodul 17 für Soll-Bearbeitungs-Bahnen bezüglich der Sollgeometrie der Werkstücke 2, 3, 4 enthält, sowie ein Modul 7 zur Datenaufbereitung und -synchronisierung und ein volumendiskretes Simulationsmodul 19 zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung in Verbindung stehend integriert sind, ein.

[0105] Erfindungsgemäß steht das Modul 7 zur Datenaufbereitung und -synchronisierung sowohl mit einem Hauptmodul 18 zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen als auch mit einem Modul 8 zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen in Verbindung, wobei im Hauptmodul 18 zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen das volumendiskrete Simulationsmodul 19 zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung und ein kollisionserkennendes Simulationsmodul 15 zur Volumenmodellierung vorhanden und miteinander programmtechnisch sowie signalkommunizierend verbunden sind, die mit einem Simulationsmodul 20

zur anlageninternen Kollisionsbehebung in Verbindung stehen, das seine Kollisionsbehebungssignale über das signalverbundene Modul 7 zur Datenaufbereitung und -synchronisierung an das Modul 8 zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen derart weitergibt, dass mit dessen Daten auf einer wahlweise festgelegten Werkzeugmaschine 12, 13, 14 das betreffende Werkstück 2, 3, 4 durch das definierte Werkzeug 9, 10, 11 kollisionsfrei bearbeitbar ist.

[0106] Das volumendiskrete Simulationsmodul 19 zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung und das kollisionserkennende Simulationsmodul 15 zur Volumenmodellierung stehen mit dem Simulationsmodul 20 zur anlageninternen Kollisionsbehebung vorzugsweise schnittstellenverkoppelt in Verbindung, wobei im Simulationsmodul 20 zur anlageninternen Kollisionsbehebung als Kollisionsbehebungsmittel vorzugsweise veränderbare Anstellwinkel und/oder veränderbare Auskraglängen der jeweiligen Werkzeuge 9, 10, 11 dienen.

[0107] Zur Datenverarbeitungsanlage 5 gehört eine zumindest mit Tastatur und Bildschirm versehene Eingabe-/Ausgabeeinrichtung 29, mittels der die Bearbeitungs-Vorgänge gestartet und beendet werden können.

[0108] Die betätigbare CAM-Moduleinheit 6 enthält insbesondere im Datenbankmodul 16 die Daten zur Sollgeometrie der Werkstücke 2, 3, 4, zu den zugehörigen Bearbeitungs-Vorgängen, ferner im Datenmodul 17 neben den Soll-Bearbeitungs-Bahnen das zugehörige Sollmaß.

[0109] Das Datenmodul 17 für Soll-Bearbeitungs-Bahnen

enthält auch die dynamischen Daten der Maschinen 12; 13; 14, insbesondere die Daten zu den Vorschubgeschwindigkeiten bezüglich der Materialvolumenänderungen am Werkstück 2, 3, 4 sowie die Werkstückröhreldaten und die Werkzeugdaten.

[0110] Das volumendiscrete Simulationsmodul 19 zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung weist im Wesentlichen Daten vom Werkzeug und Material auf und kann bezogen auf die Werkstückvolumenänderung ein materialabtragsbezogenes (z. B. durch Fräsen) und/oder ein materialauftragsbezogenes (z. B. durch Aufschweißen) Simulationsmodul darstellen.

[0111] Das schnell Kollisionen erkennende Simulationsmodul 15 zur Volumenmodellierung enthält Daten zur Definition der Maschinen 12; 13; 14, zu deren geometrischen Aufbau und zu den zugehörigen Bewegungsmöglichkeiten sowie Daten zur kompletten Aufspansituation, zum Werkzeughalter, zur Spindel und zur aktuellen Werkstückröhrengematrie.

[0112] Das Modul 8 zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übernimmt die ermittelten kollisionsfreien Bahnkoordinaten und zugehörigen Daten aus dem Modul 7 zur Datenaufbereitung und -synchronisierung und übermittelt diese an die jeweilige Maschine 12; 13; 14 zur Durchführung der auf ihr stattfindenden, wahlweise korrigierten oder ursprünglich kollisionsfreien realen Bearbeitungs-Vorgänge.

[0113] In Fig. 2 ist ein Detail-Einblick hauptsächlich in das Hauptmodul 18 zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen in Form eines Regelkreises 25 für anlageninternen Kollisionsbehebungsprozess, insbesondere zur automatischen Erzeugung von kollisionsfreien Bearbeitungs-Bahnen schematisch dargestellt. Die Datenverarbeitungsanlage 5 für das System 1 zur Erstellung von mehrachsigen Bearbeitungs-Vorgängen an dem ersten Werkstück 2 mittels der Werkzeuge 9, 10, 11 im Rahmen eines Maschinenparks mit den drei Werkzeugmaschinen 12, 13, 14 enthält im Wesentlichen die CAM-Moduleinheit 6, das Modul 7 zur Datenaufbereitung und -synchronisierung, das Modul 8 zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen sowie das Hauptmodul 18 zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen. Vom Modul 8 zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen werden die übernommenen und gespeicherten kollisionsfreien Bearbeitungs-Bahnen in Koordinatenform dem Werkzeug 9 bzw. dem Werkzeughalter, dem Spannmittel des ersten Werkstücks 2 und der ersten Werkzeugmaschine 12 signaltechnisch mitgeteilt.

[0114] Das Hauptmodul 18 zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen enthält das kollisionserkennende Simulationsmodul 15 zur Volumenmodellierung, das volumendiscrete Simulationsmodul 19 zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung sowie das Simulationsmodul 20 zur anlageninternen Kollisionsbehebung mit dem zugehörigen Zusammenspiel der darin befindlichen Programme, wobei das Zusammenspiel z. B. über eine zum Vorschubsimulationsmodul 19 vorzugsweise zugehörige Schnittstelle, vorzugsweise eine API-Schnittstelle (nicht eingezeichnet) erfolgen kann, des Weiteren ein Vergleichsmodul 22 zur Durchführung eines Vergleiches zwischen Soll-Bahn und der tatsächlichen Ist-Bahn während des virtuellen oder realen Bearbeitungs-Vorganges sowie ein Feststellmodul 24 zur Feststellung von Kollisionsdaten.

[0115] Dem Simulationsmodul 20 zur anlageninternen Kollisionsbehebung nach Fig. 1 kann im Wesentlichen eine zum Regelkreis 25 gehörende Regelstrecke, zu der auch die Stellgrößen gehören, zwischen dem Feststellmodul 24 und dem Vergleichsmodul 22 zugeordnet werden.

[0116] Erfindungsgemäß sind, wie ein Fig. 2 gezeigt, die

beiden Simulationsmodule, das 15 Volumenmodellierungs-simulationsmodul 15 und das Vorschubsimulationsmodul 19, zu einem "hybriden" Simulationsmodul 23 vereinigt und programm- und signaltechnisch derart miteinander verbunden, dass die hohe Verarbeitungsschnelligkeit Vorschubsimulationsmodul 19 und die hohe Erkennungsgeschwindigkeit des Volumenmodellierungssimulationsmoduls 15 beibehalten und genutzt werden. Vorzugsweise stellt eine Schnittstelle, vorzugsweise eine API-Schnittstelle eine diese

5 Eigenschaften unterstützende Daten-Durchgangs- und -Verteilungsstelle dar, über die die beiden Simulationsmodule 15 (Volumenmodellierungssimulationsmodul) und 19 (Vorschubsimulationsmodul) gegenseitig Informationen austauschen können. Durch eine abgestimmte, additive Programmierung der Schnittstelle können andere dem Volumenmodellierungssimulationsmodul 15 nicht zugeordnete Module von außerhalb an das Volumenmodellierungssimulationsmodul 15 angeschlossen werden und mit ihm kommunizieren.

10 [0117] Erfindungsgemäß weist in Fig. 2 das Hauptmodul 18 zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen in dynamischer Hinsicht einen Kollisionsbehebungs-Regelkreis 25 auf, wobei das Volumenmodellierungssimulationsmodul 15 und das Vorschubsimulationsmodul 19 als vereintes hybrides Simulationsmodul 23 durch den Steuerungsprozess der Datenverarbeitungsanlage 5 im Rahmen des Kollisionsbehebungsprozesses im Regelkreis 25 verbunden sind, wobei beide Prozesse zeitlich parallel ablaufen können. Zum Zusammenspiel innerhalb des hybriden Simulationsmoduls 23 tragen des Weiteren ein zugehöriges erstes Zuordnungsmodul 26 für virtuelle Maschinendaten 121, 131, 141 der drei Werkzeugmaschinen 12, 13, 14 sowie ein zweites Zuordnungsmodul 27 für virtuelle Anstellwinkel und/oder virtuelle Auskraglängen 91, 101, 111 der Werkzeuge 9, 10, 11 und ein drittes Zuordnungsmodul 28 für virtuelle Werkstückdaten 21, 31, 41 bei, wobei die realen Daten in der Datenverarbeitungsanlage 5 mit den virtuellen Daten in den Zuordnungsmodulen 26, 27, 28 proportional übereinstimmen.

15 [0118] Der dem Hauptmodul 18 zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen zugeordnete, in dem Regelkreis 25 enthaltene Kollisionsbehebungsprozess nimmt bei festgestellter Kollision der beteiligten Körper und Maschinen in dem Feststellmodul 24 unter den Kriterien der Optimierung des Anstellwinkels des betreffenden Werkzeugs 9, 10, 11 und der Einstellung der Auskraglänge des gleichen Werkzeugs 9, 10, 11 im Simulationsmodul 20 zur anlageninternen Kollisionsbehebung bei signaltechnischem Datenaustausch und der Kommunikierung der Simulationsmodule 15, 19, 20 untereinander und in dem Vergleichsmodul 22 unter Berücksichtigung der Sollgeometrie nach jedem Bearbeitungs-Vorgang, der aktuellen Werkstückröhrengematrie, der Aufspansituation und der Maschinenkinematik eine automatische Korrektur der kollisionsbehafteten Bearbeitungs-Bahn vor, deren Daten an das Modul 8 zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übermittelt werden.

20 [0119] Die Stellgrößen im Regelkreis 25 sind somit der jeweilige Ist-Anstellwinkel und/oder die jeweilige Ist-Auskraglänge, deren Daten das Vergleichsmodul 22 von dem Feststellmodul 24 übermittelt erhält, die bei Kollisionsfreiheit (K gleich 0 mit einem Toleranzwert K (Skalare/Vektoren) der Kollision zwischen den betreffenden Körpern in Fig. 2) die zutreffenden Daten und Koordinaten in den Modul 8 zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übermittelt. Der Toleranzwert K kann von Anfang an den Wert Null (K ungleich 0) aufweisen, was auf keine Kollision hinweist, ist aber bei Kollision anfänglich von Null verschieden und wird aber nach mindestens einem Durchlauf bzw. einer

schnell durchgeföhrten Durchlauffolge des Regelkreises 25 durch Änderung der Stellgrößen je nach vorgegebenem Toleranzwert nahe Null oder gleich Null sein.

[0120] Dabei soll aus einer vorgegebenen Soll-Bahn und einer momentan festgestellten Ist-Bahn des Werkzeugs 9 eine nachfolgende Bearbeitungs-Bahn erhalten werden, auf der die Führung des ersten Werkzeugs 9 gegenüber dem ersten Werkstück 2 und der ersten Werkzeugmaschine 12 kollisionsfrei ist. Aus den ursprünglich maschinenunabhängigen Daten der Soll-Bearbeitungs-Vorgänge werden somit durch das hybride Simulationsmodul 23 maschinenabhängige, maschinenbezogene Bearbeitungs-Bahnen anlagenintern und automatisch erzeugt.

[0121] Somit sind vorzugsweise zur Vervollkommnung des bekannten volumendiskreten Simulationsmoduls 19 zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung Untermodule zur Zurücksetzung der Simulation auf einen vorgegebenen Punkt, zum Schreiben eines veränderten NC-Programms sowie zur Mitführung einer Booleschen Matrix zur Verwaltung der veränderten NC-Bahn hinzufügbar. Auch eine Schnittstelle zum Abgreifen der Höheninformationen der diskreten Modellsäulen, vorzugsweise der "Nagelbrettausbildungen" kann eingebaut sein. Zwischen dem Volumenmodellierungssimulationsmodul 15 und dem Vorschubmodul 19 kann dabei die Schnittstelle 50 als ein Untermodul zur Kommunikation (Interprozesskommunikation) ausgebildet sein, das die bekannte oder durch Programme erweiterte API-Schnittstelle darstellen kann.

[0122] Die Daten aus dem Datenbankmodul 16 für Maschinen, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe und dem Datenmodul 17 für Soll-Bearbeitungs-Bahnen werden über das Modul 7 zur Datenaufbereitung und -synchronisierung in das Hauptmodul 18 zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen übermittelt und über das Vergleichsmodul 22 dem hybriden Simulationsmodul 23 zugeführt. Im Feststellmodul 24 erfolgt die Kontrolle auf Kollisionen. Werden Kollisionen von dem Feststellmodul 24 erkannt, wird zunächst im Simulationsprozess der Regelkreis 25 durchlaufen, bis die Kollision nicht mehr auftritt oder eine vorgegebene Weglänge überschritten ist. Das aufgetretene Kollisionsvolumen sowie die Informationen der beteiligten Komponenten werden in dem Feststellmodul 24 gespeichert und verarbeitet. Anschließend erfolgt eine Korrektur des NC-Programms. Die Kollision kann durch Variation des Anstellwinkels und Vorgabe von Kollisionsvermeidungsheuristiken sowie durch Variation der Auskraglänge vermieden werden. Zunächst wird versucht, durch Anstellwinkeländerung eine Kollisionsvermeidung zu realisieren. Welche Winkel wie zu verändern sind, kann durch heuristische Angaben, die in einem Untermodul (nicht in Fig. 2 eingezeichnet) mit Kollisionsvermeidungsheuristik realisiert sind, vorgegeben werden. Treten auf einer gegebenen Weglänge zu viele Winkeländerungen auf oder ist durch Winkeländerung die Kollision nicht zu beheben, wird die Auskraglänge variiert bzw. erhöht.

[0123] Notwendige Voraussetzung für den Ablauf im Regelkreis 25 ist es, dass die Simulation an einen vorgegebenen Punkt des Feststellmoduls 24 im NC-Programm des Vergleichsmoduls 22 zurückgesetzt werden kann.

[0124] Das erfördigungsgemäße Verfahren zur Erstellung von Bearbeitungs-Vorgängen wird im Folgenden erläutert: Zur Erkennung einer Kollision der Werkzeuge 9, 10, 11, Maschinenteile, Maschinen 12, 13, 14 mit einem Werkstück 2, 3, 4 wird ein Abbild des diskreten Werkstückvolumenmodells aus dem Vorschubsimulationsmodul 19 im CSG-Volumenmodell des Volumenmodellierungssimulationsmoduls 15 realisiert. Dies geschieht in Form von Quadern, die im Volumenmodellierungssimulationsmodul 15 zusammenge-

baut werden. Die Quadern haben die gleiche Höhe und verschiedene Lagen im Raum. Die XY-Position der Quader ist äquidistant verteilt (Schachbrett muster), die Höhe ergibt sich aus der Höhe des Werkstücks 2, 3, 4 im diskreten Volumenmodell des Werkstücks 2, 3, 4. Aus Effizienzgründen werden nicht sämtliche potentiellen Quader auf Kollision mit der Maschine 12, 13, 14 geprüft. Es wird eine Baumstruktur implementiert, die eine Vorauswahl der potentiellen Kollisionspartner ermöglicht.

[0125] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird keine Beschränkung des zu implementierenden Systems 1 auf die Darstellung hintschnittfreier Werkstückgeometrien vorgenommen.

[0126] Bei 3+2-achsigen Werkzeugbewegungen wird z. B. ein System 1 implementiert, welches die Bearbeitung mit angestellten Achsen simuliert und korrigiert. Die Änderung der Anstellwinkel beschränkt sich auf den jeweiligen Endpunkt eines NC-Satzes, d. h., während der Simulation eines NC-Satzes werden die Anstellwinkel nicht variiert.

[0127] Die Anstellwinkel beziehen sich auf Anstellung des Werkzeugs 9, 10, 11, d. h. die im NC-Programm angegebenen Winkel A, B und C drehen das jeweilige Werkzeug 9, 10, 11 um die X, Y und Z-Achse. Es wird eine möglichst schmale Schnittstelle zur Materialabtrag-/auftragsimulation realisiert, damit diese austauschbar ist. Die Anzeige der Verfahrbewegungen der Maschine inkl. des sich verändernden Werkstücks kann folgendermaßen durchgeführt werden: Aus der Menge der Objekte (Maschine, Spannmittel, Werkstück) wird eine vorgebbare Untermenge gebildet, welche in vorgebbaren Zeitabständen visualisiert werden. Somit ist eine visuelle Kontrolle der Maschinenbewegung möglich.

[0128] Zur möglichst effizienten Visualisierung der Maschinenbewegung wird die Menge der darzustellenden Objekte des Werkstücks von der Menge der auf Kollision zu prüfenden Objekte entkoppelt. Um eine schmale Datenkopplung zwischen einem diskreten Werkstückmodell und einem CSG-Volumenmodell herbeizuführen, wird zur weiteren Effizienzsteigerung eine Boolesche Matrix mitgeführt, die festhält, an welchen Stellen des diskreten Werkstückmodells ein Abtrag oder/oder Auftrag stattgefunden hat. Somit kann sich die Veränderung des zugehörigen CSG-Volumenmodells auf die notwendigen Stellen beschränken.

[0129] Bei torischen und zylindrischen Werkzeugen, z. B. beim zweiten Werkzeug 10, kann bei Veränderung des Anstellwinkels eine Veränderung der durch den Materialabtrag erzeugten geometrischen Gestalt des Werkstücks 4 auftreten. Dies kann dazu führen, dass zu viel Material entfernt wird, d. h. es ergibt sich ein Untermaß in Bezug auf die Sollfläche. Aus diesem Grund ist eine Korrektur der NC-Bahnen notwendig. Die Bahnen werden soweit korrigiert, das kein Untermaß mehr auftritt. Systembedingt kann es dadurch zu variierenden Aufmaßen kommen, d. h. die Kollisionsvermeidung durch Variation der Anstellwinkel kann beim Schlichten nur bei Verwendung von Kugelfräsern zweckmäßig eingesetzt werden.

[0130] Alle genannten Module können sowohl Daten als auch Programme zur Verarbeitung der Daten enthalten, wobei die Programme darüberhinaus zusätzliche, d. h. mit den anderen Modulen kommunizierende Unterprogramme bzw. Schnittstellenprogramme aufweisen können. Gleicher gilt für die Simulationsprogramme, bei denen vor allem die virtuellen Daten zum Zusammenspiel mit den signaltechnisch verbundenen reale Daten und/oder Programme enthaltenden Modulen beitragen, wobei die Daten sowohl Soll-, Ist- als auch Toleranzdaten aller beteiligten Körper darstellen können. Die in den Simulationsmodulen erzeugten Modelle können in die reale Daten enthaltenen Module eingeschert und von dort als real umsetzbare Daten in die betref-

fenden Werkzeugmaschinenspeichereinheiten abgerufen werden.

[0130] Mit dem System 1 zur Erstellung von mehrachsen Bearbeitungs-Vorgängen insbesondere beim vorzugsweise fünfachsigen Fräsen im Werkzeug- und Formen werden Kollisionen zwischen einzelnen Komponenten bzw. Teilen von Maschinen 12, 13 und/oder 14, zwischen Maschinenteilen und Werkstück sowie zwischen Maschinenteilen und Spannmitteln ermittelt und behoben.

[0131] In der Datenfluss-Darstellung in Fig. 3 wird gezeigt, wie das erfindungsgemäße System 1 in das informationstechnische Umfeld eingeordnet sein kann. Der zentrale Kern des erfindungsgemäßen Systems 1 ist ein Kollisionsvermeidermodul 32. Das Kollisionsvermeidermodul 32 ist programm- und signaltechnisch mit der CAM-Moduleinheit 6, insbesondere mit dem Datenmodul 17 für Soll-Bearbeitungs-Bahnen und dem Datenbankmodul 16 für Maschinen, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe sowie dem Untermodul 61 zur parametrischen Volumenmodellierung verbunden, wobei vom Untermodul 61 zur parametrischen Volumenmodellierung im Wesentlichen sowohl Datenpakete 33 zur Maschinenbeschreibung als auch Datenpakete 34 zur Kollisionsobjektdarstellung an das Kollisionsvermeidermodul 32 signaltechnisch übermittelt werden. Der Kollisionsvermeidermodul 32 entspricht im Wesentlichen der programmin- und signaltechnischen Vereinigung der Module 7, 22, 19, 20, 24 in Fig. 2.

[0132] Erfindungsgemäß steht das Kollisionsvermeidermodul 32 mit einem Untermodul 35 mit Kollisionsvermeidungsheuristik in Verbindung, das im Wesentlichen programmtechnische Kollisionsobjekt-/paar-Vermeidungsdialoge enthält. Vom Kollisionsvermeidermodul 32 werden über das Modul 8 zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen kollisionsfreie Bearbeitungs-Vorgänge in einem kollisionsfreien NC-Programm an die erste Werkzeugmaschine 12 weitergeleitet.

[0133] In Fig. 4 ist eine schematische Darstellung der Detaillierung der Datenflüsse insbesondere im Kollisionsvermeidermodul 32 nach Fig. 3 dargestellt. Hauptträger des Kollisionsvermeidermoduls 32 sind das Vorschubsimulationsmodul 19 und ein Untermodul 36 zur volumenorientierten Kollisionsprüfung, das Teil des Volumenmodellierungs-simulationsmoduls 15 ist, das ein parametrisches Volumenmodellierungssimulationsmodul 62 enthält. Ein Bindeglied zwischen dem Untermodul 36 zur volumenorientierten Kollisionsprüfung und dem Untermodul 61 zur parametrischen Volumenmodellierung ist ein Untermodul 37 zur Maschinenaufbereitung, in dem eingehende Datenpakete 33 zur Maschinenbeschreibung und 34 zur Kollisionsobjektdarstellung aus dem ersten Zuordnungsmodul 26 für virtuelle Maschinendaten in ausgehende Datenpakete 38 zur modifizierten Maschinenaufbereitung und in ausgehende Datenpakete 39 zur Darstellung modifizierter Kollisionsobjekte/-paare modifiziert werden, wobei die Datenpakete 38, 39 Eingangsgrößen des Untermoduls 36 zur volumenorientierten Kollisionsprüfung darstellen.

[0134] Weitere Eingangsgrößen des Untermoduls 36 zur volumenorientierten Kollisionsprüfung sind Datenpakete 40 für Verfahrbewegungen der Werkzeuge 9, 10, 11 während der Bearbeitungs-Vorgänge sowie Daten aus dem Untermodul 42 für diskrete Werkstückmodelle aus dem zweiten Zuordnungsmodul 28 für virtuelle Werkstückdaten entsprechend Fig. 2. Das Untermodul 36 zur volumenorientierten Kollisionsprüfung ist mit einem Modifizierermodul 60 verbunden, das Kollisionsinformationspakete 44 zu Verfahrbewegungen erhält und diese in Form von Datenpaketen 45 modifizierter Verfahrbewegungen dem Vorschubsimulationsmodul 19 mit einem darin enthaltenen Untermodul 62

zur Werkstückvolumenänderung übermittelt. Eine Modifizierung der Verfahrbewegungen erfolgt dann, wenn aus einem angeschlossenen Untermodul 35 Kollisionsvermeidungsheuristik entsprechende Datensignale zur Änderung der Verfahrbewegungen übernommen werden können. Aus dem Untermodul 62 zur Werkstückvolumenänderung heraus werden die korrigierten Bearbeitungs-Vorgänge an das Modul 8 zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übermittelt, von dem aus die Datensignale an die erste Werkzeugmaschine 12 gesendet werden. Die Werkstückvolumenänderungen betreffen den Abtrag und/oder den Auftrag von Material am Werkstück 2, 3, 4.

[0135] In Fig. 5 ist eine tabellarische Form einer potentiellen Kollisionsmatrix 46 für eine erste Werkzeugmaschine 12, insbesondere eine NC-Fräsmaschine dargestellt, in der stellvertretend für weitere Kollisionsobjekte 34, 39 nach Fig. 3, 4 – insbesondere Stützen, Querträger, Spindel, Werkzeughalter, Werkzeug 9, 10, 11, Spannelemente, Werkstück 2, 3, 4 – den Rahmen für die potentielle Kollisionsmatrix 46 mit einer Horizontaliste Di und einer Vertikalleiste Ej mit i, j = 1 bis n bilden. Als Beispiel kann in Fig. 5 das Werkstück D7 in Horizontaliste Di sowohl mit der Spindel in E3 als auch mit dem Werkzeughalter E4 aus der Vertikalleiste Ej die Kollisionsobjektpaare D7-E3 und D7-E4 bilden.

[0136] Erfindungsgemäß sind die Werkzeugmaschinen 12, 13, 14 in Gruppen unterteilt und ähnlich der Kollisionsmatrix 46, wie in Fig. 5 gezeigt, mittels der Datenpakete 33, 38 zur Maschinenbeschreibung bzw. modifizierten Maschinenbeschreibung sowie des Untermoduls 37 zur Maschinenaufbereitung ausgebildet. In der Kollisionsmatrix 46 wird festgelegt, welche Gruppen auf paarweise Kollision prüfbar sind.

[0137] Vorzugsweise werden gemäß Fig. 4, 5 für die Kollisionsobjekte 34, 39 Dialoge erstellt, die die Gruppierung einzelner Objekte im Volumenmodellierungsmodul 15 ermöglichen. Diese Gruppierungen können geladen, gespeichert und modifiziert werden. Zur Definition sämtlicher möglicher Kollisionsobjektpaare werden die Dialoge eingespeichert. Zu den einzelnen Kollisionsobjektpaaren werden aus dem Untermodul 35 mit Kollisionsvermeidungsheuristik zugehörige, fest implementierte Modifikationsheuristiken angewählt.

[0138] Durch die Zuordnung können je nach Kollisionsobjektpaarung unterschiedliche Ausweichstrategien verfolgt werden. Damit besteht eine direkte Verbindung zwischen dem Untermodul 37 zur Maschinenaufbereitung und dem Modifizierermodul 60 über das Untermodul 36 zur volumenorientierten Kollisionsprüfung.

[0139] In Fig. 6 ist schematisch eine Detaillierung der Datenflüsse im Untermodul 36 zur volumenorientierten Kollisionsprüfung dargestellt. Die Hauptträger zur Abarbeitung der Datenpakete und Programme im Untermodul 36 zur volumenorientierten Kollisionsprüfung sind das Modul 43 zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen, das Modul 30 für eine potentielle Kollisionsmatrix 46 entsprechend Fig. 5 sowie das Modul 47 zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix inklusive des Kollisionsvolumens. Das Vorschubsimulationsmodul 19 mit den weiterleitbaren Datenpaketen 40 für Verfahrbewegungen sowie das Untermodul 37 zur Maschinenaufbereitung mit dem ausgehenden Datenpaket 38 zur modifizierten Maschinenaufbereitung und die Daten aus dem Modul 30 für eine potentielle Kollisionsmatrix 46 führen an das Untermodul 49 zur paarweisen Kollisionsermittlung, das mit dem Modul 47 zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix datenzuleitend in Verbindung steht.

[0140] Mittels der Datenpakete 34, 39 zur Darstellung von

Kollisionsobjekten bzw. von modifizierten Kollisionsobjekt-/paaren werden zur Kollisionsmatrixerstellung die erhaltenen Datenpakete **48** zur Erstellung einer potentiellen Kollisionsmatrix unter Mithilfe der Datenpakete **38** zur modifizierten Maschinenbeschreibung und der Datenpakete **40** für Verfahrbewegungen an das Modul **30** für eine potentielle Kollisionsmatrix **46** übermittelt, wobei das Untermodul **49** zur paarweisen Kollisionsermittlung die ermittelten Ergebnisse dem Modul **47** zur Speicherung der aktuellen Kollisionsmatrix zuführt.

[0141] Das Untermodul **49** zur paarweisen Kollisionsermittlung steht auch mit dem Modul **43** zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen in Verbindung. Mittels der Informationen und Daten aus dem Modul **42** für diskrete Werkstückmodelle und aus dem Modul **43** zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen sowie aus dem Modul **47** zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix wird in einem Untermodul **51** zur Aktualisierung von Volumen-Werkstückmodellen eine Aktualisierung durchgeführt, wobei die aktuellen Datenpakete erstens zurück an das Modul **47** zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix übermittelt werden und nach Verarbeitung als Kollisionsinformationen **44** an das Modifizierermodul **34** übertragen und zweitens an das Modul **43** zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen zur Aktualisierung des Werkstückmodells geführt werden.

[0142] In Fig. 6 wird anhand der potentiellen Kollisionsmatrix **46** gemäß Fig. 5 die Kollisionsberechnung durchgeführt. Hierbei ist zu unterscheiden, ob eine Kollision mit oder ohne Beteiligung des Werkstücks **2** berechnet wird. Aus Effizienzgründen wird erst eine Prüfung anhand der Bounding-Bögen vorgenommen. Anschließend erfolgt bei Bedarf eine komplete Kollisionsprüfung mit Routinen des Volumenmodellierungssimulationsmoduls **15**.

[0143] Der in Fig. 6 dargestellte wesentliche Teilprozess "Volumen-Werkstückmodell aktualisieren" wird anhand der Fig. 7 mittels einer Datenfluss-Darstellung zur Aktualisierung eines Volumen-Werkstückmodells näher erläutert. Da das gesamte System **1** unter Einbeziehung sowohl der virtuellen als auch der realen Werkzeugmaschinen **12, 13, 14** mit einer endlichen Genauigkeit arbeitet, müssen die Ungenauigkeiten bei der Kollisionsermittlung berücksichtigt werden. Hierzu werden die Werkzeugmaschinen **12, 13, 14** um einen bestimmten proportionalen Betrag vergrößert, indem sämtliche Teile um einen Faktor skaliert werden. Hierdurch wird vermieden, dass z. B. rein rechnerisch keine Kollisionen ermittelt werden, die reale Werkzeugmaschine **12, 13, 14** jedoch aufgrund der Positionierungsungenauigkeiten kollidieren kann. Anders herum kann es dann passieren, dass real keine Kollision vorliegt, das System **1** aus Sicherheitsgründen aber eine Kollision ermittelt und vermeidet.

[0144] Das Untermodul **51** zur Aktualisierung von Volumen-Werkstückmodellen enthält in Fig. 7 mehrere in genannter Reihenfolge verbundene Submodule: Ein Submodul **52** zum Aufbau einer Quadtreestruktur, ein Submodul **53** zur Ermittlung beteiligter Körper, ein Submodul **54** zur Aktualisierung von Z-Werten und ein Submodul **55** zur Korrektur einer Kollisionsmatrix **46**, deren Ergebnis dem Modul **47** zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix übermittelt wird, das Informationen an das Submodul **53** zur Ermittlung beteiligter Körper übermittelt, das ebenfalls Informationen aus dem Modul **43** zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen erhält. In das Submodul **52** zum Aufbau einer Quadtreestruktur werden aus dem Modul **42** für diskrete Werkstückmodelle und aus dem Modul **43** zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen die Daten für den Aufbau einer Quadtreestruktur übermittelt, deren Ergebnis an das Modul **43** zur Speicherung von Volumen-

Werkstückmodellen zugesendet wird, das nachfolgend Daten an das Submodul **53** zur Ermittlung beteiligter Körper übermittelt. Das Submodul **54** zur Aktivierung von Z-Werten erhält entsprechende Informationen aus dem Submodul **53** zur Ermittlung beteiligter Körper und übermittelt das Ergebnis sowohl an das Modul **43** zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen als auch an das Submodul **55** zur Korrektur einer Kollisionsmatrix, das Daten an das geschlossene Modul **47** zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix liefert, das mit dem Submodul **53** zur Ermittlung beteiligter Körper in Verbindung steht. Datenpakete **44** mit Kollisionsinformationen verlassen in Richtung Modifizierermodul **60** das Modul **47** zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix.

[0145] In Fig. 8 sind die Datenflüsse des Modifizierermoduls **60**, das im Wesentlichen eine andere und detailliertere Datenflussform des Regelkreises **25** des anlageninternen Kollisionsbehebungsprozesses nach Fig. 2 aufweist, dargestellt. Das Modifizierermodul **60** enthält ein Submodul **56** zur Bestimmung eines Gesamt-Kollisionsvolumens, ein Submodul **57** zur Bestimmung von Anstellwinkeln/von Auskraglängen und ein Submodul **58** zur Bestimmung eines Rücksetzpunktes mit einem Datenpaket bzw. einem Datenignal **59** zum Rücksetzen, in der genannten Reihenfolge jeweils nachgeordnet in Verbindung stehend, wobei das Datenignal **59** zum Rücksetzen dem Vorschubsimulationsmodul **19** übermittelt wird. Von außerhalb angeschlossen stehen mit dem Submodul **56** zur Bestimmung eines Gesamt-Kollisionsvolumens Datenpakete **44** mit Kollisionsinformationen, das Untermodul **35** mit Kollisionsvermeidungsheuristik und ein Submodul **441** für abschnittsweise Kollisionsinformationen in Verbindung. Die inneren Submodule **57** zur Bestimmung von Anstellwinkel/von Auskraglängen und **58** zur Bestimmung eines Rücksetzpunktes sind mit dem Vorschubsimulationsmodul **19** zum einen über die Datenpakte **45** mit modifizierten Verfahrbewegungen und zum anderen über das Datenpaket **59** zum Rücksetzen verbunden. Vom Vorschubsimulationsmodul **19** werden die Informationen in das Modul **8** zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungsbahnen geführt und von da aus können die realen Bearbeitungs-Vorgänge auf der ersten Werkzeugmaschine **12** gesteuert werden. Aus dem ermittelten Gesamt-Kollisionsvolumen einer Teilstrecke wird nach der Kollisionsvermeidungsheuristik eine Modifikation der Parameter Anstellwinkel und Auskraglänge vorgenommen. Die Kollisionsvermeidungsheuristik oder eine Menge von Heuristiken für verschiedene Kollisionspaarungen werden dafür implementiert. Falls eine Variation der Anstellwinkel erforderlich ist, muss z. B. bei zylindrischen und torischen Fräsern eine Korrektur der Bahn vorgenommen werden, um Unterschnitte zu vermeiden. Hierzu wird das Werkzeug in Richtung der ursprünglichen Werkzeugachse verschoben.

[0146] Dem erfindungsgemäßen System **1** liegt folgendes erfindungsgemäße Verfahren zugrunde, das anhand der Fig. 9 erläutert wird, in der eine Grobstruktur des Algorithmus zur Werkstückvolumenänderungssimulation, insbesondere zur Abtragssimulation, zur volumenorientierten Kollisionsprüfung, zur Modifikation und zur Rücksetzung für ein NC-Programm innerhalb der algorithmischen Verzahnung von Abtragssimulation und Volumen-Kollisionsprüfung dargestellt ist. Gleches gilt für die Auftragssimulation. Der dargestellte Simulationsablauf mit dem Werkstückabtrag kann parallel zu den realen Bearbeitungs-Vorgängen ablaufen. Es ist aber auch möglich, vor der Realisierung die Bearbeitungs-Vorgänge am Werkstück über einen Simulationsablauf zu kontrollieren, ob Kollisionen vorliegen, die je nach Bedarf eine Erweiterung des Maschinenparks um eine weitere Werkzeugmaschine und/oder eine Erweiterung der

Werkzeugpalette bedingen.

[0147] Die Abtragsimulation und volumenorientierte Kollisionsprüfung laufen quasi parallel. Für jeden NC-Satz können dabei sowohl die Abtragsimulation als auch die volumenorientierte Kollisionsprüfung durchgeführt werden. Bei Kollisionen ist ein Zurücksetzen im NC-Programm vorgesehen. Deshalb werden bei der Abtragsimulation sämtliche veränderten Höheninformationen gespeichert.

[0148] Zur Kollisionsbehebung eines ursprünglichen ND-Programms aus einem NC-Programm-Modul 70 des Datenmoduls 17 für Soll-Bearbeitungs-Bahnen weist in Fig. 9 im Wesentlichen eine Verwaltung 71, insbesondere eine Rücksetz-Verwaltung auf, an die auch die NC-Satzspeicher 72 geführt sind. Für den i-ten Bearbeitungs-Vorgang wird der i-te NC-Satz 73 aus dem NC-Satzspeicher 72 ausgelesen und im Vorschubsimulationsmodul 19 die zugehörige Abtragsimulation 74, in der die Nägel 75 gemäß einem verwendeten Nagelbreitmodell abgeschnitten werden, durchgeführt.

[0149] Vorzugsweise wird die Abtragsimulation 74 für den i-ten NC-Satz durch ein erweitertes diskretes Vorschubsimulationsmodul 19 realisiert. Das erweiterte Vorschubsimulationsmodul 19 weist erfundungsgemäß Zusatzfunktionen wie das Zurücksetzen der Simulation auf einen vorgegebenen Punkt, das Schreiben eines veränderten NC-Programms sowie die Mitführung einer Booleschen Matrix zur Verwaltung der veränderten Nägel auf. Darüber hinaus kann im erweiterten Vorschubsimulationsmodul 19 eine Schnittstelle zum Abgreifen der Höheninformationen implementiert sein. Ebenso ist zur Kommunikation zwischen dem Vorschubsimulationsmodul 19 und dem Volumenmodellierungssimulationsmodul 15 eine Interprozesskommunikation, vorzugsweise in Form einer programmtechnisch und funktional erweiterten API-Schnittstelle 50 vorgesehen.

[0150] Die zugeordnete volumenorientierte Kollisionsprüfung 76 für den i-ten NC-Satz im Untermodul 36 zur volumenorientierten Kollisionsprüfung kann ergeben, dass keine Kollision mit dem Toleranzwert – K gleich Null – vorliegt und durch das positive Signal 77 der nächste i+1-NC-Satz aus dem NC-Satzspeicher 72 ausgelesen werden kann. Ist der Toleranzwert – K ungleich Null –, dann wird durch das negative Signal 78 die Modifikation der Anstellwinkel des Werkzeugs 9 initiiert. Die Modifikation 79 der Anstellwinkel des Werkzeugs 9 erfolgt unter Verwendung einer fest eingebauten Heuristik im Untermodul 35 mit Kollisionsvermeidungsheuristik. Damit kann sich eine Modifikation 80 der Bahn zur Kollisionsvermeidung im i-j-ten Abschnitt ergeben, wobei das Informationssignal 82 den i-ten NC-Satz ändern kann. Die Modifikation der Bahn erfolgt durch die Berechnung der Verschiebung für einen vorgegebenen Winkel, wobei die Verschiebung in Z-Richtung oder in Richtung der veränderten oder ursprünglichen Werkzeugachse erfolgen kann. Werden die bisherigen Modifikationsparameter 81 für den i-j-ten Abschnitt von der Modifikation 79 der Anstellwinkel übernommen, so erfolgt nur eine Modifikation 80 der Bahn in Richtung der ursprünglichen Werkzeugachse. Dabei kann die Korrektur der i-ten NC-Bahn zur Vermeidung von Unterschnitten bei torischen und zylindrischen Werkzeugen vorgenommen werden.

[0151] Mit dem Gegenstand der Erfindung wird es nicht nur schlechthin ermöglicht, dass die manuelle Off-line-Programmierung zur Kollisionsbehebung durch eine anlageninterne, automatische On-line-Programmierung ersetzt wird, sondern es wird die Genauigkeit, die Zuverlässigkeit sowie die Schnelligkeit der Prozesssteuerung und somit die Durchführung der Bearbeitungs-Vorgänge insgesamt erhöht.

[0152] Die Erfindung stellt nicht nur eine bloße Addition der bekannten Simulationsmodule zur Volumenmodellierung 15 und zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung 19

dar, sondern bringt durch die aktuelle Auswertung der Daten von Anstellwinkel und/oder Auskraglänge der jeweiligen Werkzeuge 9, 10, 11 zum jeweils momentanen Bahn-Bearbeitungsstandort sowohl am Werkstück, am Werkzeug und

- 5 an der Maschine synergetische Effekte, insbesondere eine wesentlich höhere Kosteneinsparung an Werkstückmaterial, eine bessere Maschinen-, Werkzeug- sowie Zeitausnutzung hervor als es die Summe der beiden einzelnen Einsätze der beiden herkömmlichen Module zur Volumenmodellierung 15 und zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung 19 ohne irgendwelche Verzahnung darstellt

BEZUGSZEICHENLISTE

- 15 1 System
- 2 2 erstes Werkstück
- 3 3 zweites Werkstück
- 4 4 drittes Werkstück
- 5 5 Datenverarbeitungsanlage
- 20 6 CAM-Moduleinheit
- 7 7 Modul zur Datenaufbereitung und -synchronisierung
- 8 8 Modul zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen
- 9 9 erstes Werkzeug
- 25 10 10 zweites Werkzeug
- 11 11 drittes Werkzeug
- 12 12 erste Werkzeugmaschine
- 13 13 zweite Werkzeugmaschine
- 14 14 dritte Werkzeugmaschine
- 30 15 kollisionserkennendes Simulationsmodul zur Volumenmodellierung (Volumenmodellierungssimulationsmodul)
- 16 16 Datenbankmodul für Maschinen, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe, etc.
- 17 17 Datenmodul für Soll-Bearbeitungs-Bahnen
- 35 18 Hauptmodul zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen
- 19 19 volumendiskretes Simulationsmodul Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung (Vorschubsimulationsmodul)
- 20 20 Simulationsmodul zur anlageninternen Kollisionsbehebung
- 40 21 21 erstes Subdatenmodul für Werkstückdaten
- 22 22 Vergleichsmodul zur Durchführung eines Vergleiches zwischen Daten der Soll-Bahn und den Daten der Ist-Bahn
- 23 23 Hybrides Simulationsmodul
- 45 24 Feststellmodul zur Feststellung von Kollisionsdaten
- 25 25 Regelkreis für anlageninternen Kollisionsbehebungsprozess
- 26 26 erstes Zuordnungsmodul für virtuelle Maschinendaten
- 27 27 zweites Zuordnungsmodul für virtuelle Anstellwinkel und/oder virtuelle Auskraglängen von Werkzeugen
- 28 28 drittes Zuordnungsmodul für virtuelle Werkstückdaten
- 29 29 Eingabe-/Ausgabeeinrichtung
- 30 30 Modul für eine potentielle Kollisionsmatrix
- 31 31 zweites Subdatenmodul für Werkstückdaten
- 32 32 Kollisionsvermeidermodul
- 33 33 Datenpaket zur Maschinenbeschreibung
- 34 34 Datenpaket zur Kollisionsobjektdarstellung
- 35 35 Untermodul mit Kollisionsvermeidungsheuristik
- 36 36 Untermodul zur volumenorientierten Kollisionsprüfung
- 37 37 Untermodul zur Maschinenaufbereitung
- 38 38 Datenpaket zur modifizierten Maschinenbeschreibung
- 39 39 Datenpaket zur Darstellung modifizierter Kollisionsobjekte/-paare
- 40 40 Datenpaket für Verfahrbewegungen
- 41 41 drittes Subdatenmodul für Werkstückdaten
- 42 42 Modul für diskrete Werkstückmodelle
- 43 43 Modul zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen

44 Datenpaket mit Kollisionsinformationen	
441 Submodul für abschnittsweise Kollisionsinformationen	
45 Datenpaket mit korrigierten Verfahrbewegungen	
46 Kollisionsmatrix	5
47 Modul zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix	
48 Datenpaket zur Erstellung einer potentiellen Kollisionsmatrix	
49 Untermodul zur paarweisen Kollisionsermittlung	
50 Schnittstelle	
51 Submodul zur Aktualisierung von Volumen-Werkstückmodellen	10
52 Submodul zum Aufbau einer Quadtreestruktur	
53 Submodul zur Ermittlung beteiligter Körper	
54 Submodul zur Aktualisierung von Z-Werten	
55 Submodul zur Korrektur einer Kollisionsmatrix	15
56 Submodul zur Bestimmung eines Gesamt-Kollisionsvolumens	
57 Submodul zur Bestimmung von Anstellwinkeln/von Auskraglängen	
58 Submodul zur Bestimmung eines Rücksetzpunktes	20
59 Datensignal zum Rücksetzen	
60 Modifizierermodul	
61 Untermodul zur parametrischen Volumenmodellierung	
62 Untermodul zur Werkstückvolumenänderung	
70 NC-Programm	25
71 Rücksetz-Verwaltung	
72 NC-Satzspeicher	
73 Leseeinrichtung für i-ten NC-Satz	
74 Abtragsimulation für i-ten NC-Satz	
75 Abgeschnittene Nägel für NC-Satz	
76 Volumenorientierte Kollisionsprüfung	30
77 Kollisionsfreies Datensignal	
78 Kollisionsbehaftetes Datensignal	
79 Modifikation der Anstellwinkel im Abschnitt i-j	
80 Modifikation der Bahn zur Kollisionsvermeidung im Abschnitt i-j	35
81 Bisherige Modifikationsparameter für Abschnitt i-j	
82 Informationssignal	
91 erstes Subdatenmodul für Aufspannung	
101 zweites Subdatenmodul für Aufspannung	40
111 drittes Subdatenmodul für Aufspannung	
121 erstes Subdatenmodul für erste Werkzeugmaschine	
131 zweites Subdatenmodul für zweite Werkzeugmaschine	
141 drittes Subdatenmodul für dritte Werkzeugmaschine	
K Toleranzwert für Kollision	45
K = 0 Kollisionsfreiheit	
K ≠ 0 Kollision	
X, Y, Z Koordinaten	
A, B, C Anstellwinkel	
Di Horizontalleiste der Kollisionsmatrix	50
Ej Vertikalleiste der Kollisionsmatrix	

Patentansprüche

1. System (1) und Verfahren zur Erstellung von mehrachsenigen Bearbeitungs-Vorgängen an Werkstücken (2, 3, 4) auf mindestens einer Werkzeugmaschine (12, 13, 14) mittels mindestens eines Werkzeugs (9, 10, 11), wobei Soll-Bearbeitungs-Bahnen bezüglich der Sollgeometrie des betreffenden Werkstücks (2, 3, 4) in einem Datenmodul (17) gespeichert sind, dadurch gekennzeichnet, daß zu jedem Zeitpunkt der Bearbeitung des Werkstücks (2, 3, 4) eine Feststellung der tatsächlichen Bahndaten und/oder der Abweichung von den ursprünglichen Soll-Bearbeitungs-Bahnen unter Berücksichtigung des durch die Bearbeitung des Werkstücks (2, 3, 4) erfolgten Materialabtrags erfolgt.
2. System (1) und Verfahren nach Anspruch 1, da-

durch gekennzeichnet, daß unter Verwendung der tatsächlichen Bahndaten und/oder der Abweichung von den ursprünglichen Soll-Bearbeitungs-Bahnen eine Kollisionsgefahr frühzeitig erkannt und die Kollision automatisch vermieden wird.

3. System (1), insbesondere nach Anspruch 1 oder 2, zur Erstellung von mehrachsenigen Bearbeitungs-Vorgängen an Werkstücken (2, 3, 4) auf mindestens einer Werkzeugmaschine (12, 13, 14) mittels mindestens eines Werkzeugs (9, 10, 11) unter Einbeziehung einer zur Prozesssteuerung vorgesehenen, gespeicherte Module enthaltenden, programmierbaren Datenverarbeitungsanlage (5), in der zumindest eine CAM-Moduleinheit (6), die ein Datenbankmodul (16) für Maschinen, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe und ein Datenmodul (17) für Soll-Bearbeitungs-Bahnen bezüglich der Sollgeometrie des betreffenden Werkstücks (2, 3, 4) enthält, sowie ein Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchronisierung und ein volumendiskretes Simulationsmodul (19) zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung in Verbindung stehend integriert sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchronisierung sowohl mit einem Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen als auch mit einem Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen in Verbindung steht, wobei im Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen das volumendiskrete Simulationsmodul (19) zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung und ein kollisionserkennendes Simulationsmodul (15) zur Volumenmodellierung vorhanden und miteinander programmtechnisch sowie signalkommunizierend verbunden sind, die mit einem Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung in Verbindung stehen, das seine Kollisionskorrektursignale über das signalverbundene Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchronisierung an das Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen derart weitergibt, dass mit dessen Daten auf mindestens einer wahlweise festgelegten Werkzeugmaschine (12, 13, 14) das betreffende Werkstück (2, 3, 4) durch mindestens ein definiertes Werkzeug (9, 10, 11) kollisionsfrei bearbeitbar ist.

4. System nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das volumendiskrete Simulationsmodul (19) zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung und das kollisionserkennende Simulationsmodul (15) zur Volumenmodellierung mit dem Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung vorzugsweise schnittstellenverkoppelt in Verbindung stehen, wobei im Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung als Kollisionsbehebungsmittel vorzugsweise veränderbare Anstellwinkel und/oder veränderbare Auskraglängen der jeweiligen Werkzeuge (9, 10, 11) dienen.

5. System nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass das volumendiskrete Simulationsmodul (19) zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung im Wesentlichen Daten vom Werkzeug (9, 10, 11) und Material aufweist und für eine Werkstückvolumenänderung, insbesondere für eine Materialabtragung, vorzugsweise Fräsen, Schruppen, Bohren und/oder für eine Materialauftragung, vorzugsweise Aufschweißen am Werkstück (2, 3, 4) ausgebildet ist.

6. System nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Datenverarbeitungsanlage (5) eine zumindest mit einer Tastatur und einem Bildschirm versehene Eingabe-/Ausgabeeinrichtung (29)

gehört, mittels der die realen und virtuellen Bearbeitungs-Vorgänge wahlweise gestartet und beendet werden.

7. System nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die betätigbare CAM-Moduleinheit (6) insbesondere im Datenbankmodul (16) auch Daten zur Sollgeometrie der Werkstücke (2, 3, 4) und Daten zu den zugehörigen Bearbeitungs-Vorgängen sowie im Datenmodul (17) für Soll-Bearbeitungs-Bahnen neben den Soll-Bearbeitungs-Bahn-Daten auch das zugehörige Sollmaß enthält.

8. System nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Datenmodul (17) für Soll-Bearbeitungs-Bahnen auch die dynamischen Daten der Maschinen (12; 13; 14), insbesondere die Daten zu den Vorschubgeschwindigkeiten bezüglich der Materialvolumenänderungen am Werkstück (2, 3, 4) sowie die Werkstückröhreldaten und die Werkzeugdaten enthält.

9. System nach einem der Ansprüche 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das schnell Kollisionen erkennende Simulationsmodul (15) zur Volumenmodellierung Daten zur Definition der Werkzeugmaschinen (12, 13, 14), zu deren geometrischen Aufbau und zu den zugehörigen Bewegungsmöglichkeiten sowie Daten zur kompletten Aufspannsituation, zum Werkzeughalter, zur Spindel und zur aktuellen Werkstückröhreldgeometrie enthält.

10. System nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen die ermittelten kollisionsfreien Bahnkoordinaten und zugehörigen Daten aus dem Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchroneisierung übernimmt und die Daten an die jeweilige Werkzeugmaschine (12, 13, 14) zur Durchführung der auf ihr stattfindenden, wahlweise korrigierten oder ursprünglich kollisionsfreien Bearbeitungs-Vorgänge übermittelt.

11. System nach einem der Ansprüche 3 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen als ein Regelkreis (25) für anlageninternen Kollisionsbehebungspräzess, insbesondere zur automatischen Erzeugung von kollisionsfreien Bearbeitungs-Bahnen ausgebildet ist, wobei insbesondere zur Erstellung von mehrachsenigen Bearbeitungs-Vorgängen an einem Werkstück (2, 3, 4) mittels Werkzeuge (9, 10, 11) im Rahmen eines Maschinenparks mit mehreren Werkzeugmaschinen (12, 13, 14) im Wesentlichen die CAM-Moduleinheit (6), das Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchroneisierung, das Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen sowie das Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen beteiligt sind und wobei vom Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen die übernommenen und gespeicherten Daten von kollisionsfreien Bearbeitungs-Bahnen in Koordinatenform/Vektorform dem Werkzeug (9, 10, 11) bzw. dem Werkzeughalter, dem Spannmittel des betreffenden Werkstücks (2, 3, 4) und der betriebenen Werkzeugmaschine (12, 13, 14) signaltechnisch mitteilbar sind.

12. System nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen das kollisionserkennende Simulationsmodul (15) zur Volumenmodellierung, das volumendiskrete Simulationsmodul (19) zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung (Vorschubsimulationsmodul) sowie das Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung mit dem

zugehörigen Zusammenspiel der darin befindlichen Programme, wobei das Zusammenspiel vorzugsweise über eine zum Vorschubsimulationsmodul (19) vorzugsweise zugehörige Schnittstelle (50) erfolgt, und des Weiteren ein Vergleichsmodul (22) zur Durchführung eines Vergleiches zwischen Soll-Bahn und der tatsächlichen Ist-Bahn während eines laufenden realen und/oder eines virtuellen Bearbeitungs-Vorganges sowie ein Feststellmodul (24) zur Feststellung von Kollisionsdaten enthält.

13. System nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass dem Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung im Wesentlichen eine dem Regelkreis (25) zugeordnete Regelstrecke, in der Stellgrößen operieren, zwischen dem Feststellmodul (24) und dem Vergleichsmodul (22) zugeordnet ist.

14. System nach einem der Ansprüche 3 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen in dynamischer Hinsicht einen Kollisionsbehebungs-Regelkreis (25) aufweist, wobei das Volumenmodellierungssimulationsmodul (15) und das Vorschubsimulationsmodul (19) als vereintes hybrides Simulationsmodul (23) durch den Steuerungsprozess der Datenverarbeitungsanlage (5) im Rahmen des Kollisionsbehebungsprozesses im Regelkreis (25) verbunden sind.

15. System nach einem der Ansprüche 3 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass zum Zusammenspiel innerhalb des hybriden Simulationsmoduls (23) vorzugsweise ein zugehöriges Zuordnungsmodul (26) für virtuelle Maschinendaten (121, 131, 141) der drei Werkzeugmaschinen (12, 13, 14) sowie ein Zuordnungsmodul (27) für virtuelle Anstellwinkel und/oder virtuelle Auskraglängen (91, 101, 111) der Werkzeuge (9, 10, 11) und ein Zuordnungsmodul (28) für virtuelle Werkstückdaten (21, 31, 41) beitragen, wobei die realen Daten in der Datenverarbeitungsanlage (5) mit den virtuellen Daten in den Zuordnungsmodulen (26, 27, 28) proportional übereinstimmen.

16. System nach einem der Ansprüche 3 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass alle beteiligten und genannten Module wahlweise sowohl Daten als auch Programme zur Verarbeitung eingehender und vorhandener Daten enthalten, wobei die Programme wahlweise zusätzliche, mit den anderen Modulen kommunizierende Unterprogramme bzw. Schnittstellenprogramme aufweisen.

17. System nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Simulationsprogramme, bei denen insbesondere die realen und virtuellen Daten zum Zusammenspiel mit den verbundenen Modulen beitragen, Daten, insbesondere sowohl Soll-, Ist- als auch Toleranzdaten aller beteiligten Körper aufweisen, wobei die in den Simulationsmodulen erzeugten virtuellen Modelle in die reale Daten enthaltenen Module eingespeichert und von dort als real umsetzbare Daten abrufbar sind.

18. System nach einem der Ansprüche 3 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass vorzugsweise das volumendiskrete Simulationsmodul (19) zur Vorschubgeschwindigkeitsoptimierung durch Untermodule zur Rücksetzung der Simulation auf einen vorgegebenen Punkt, zum Schreiben eines veränderten NC-Programms sowie zur Mitführung einer Booleschen Matrix zur Verwaltung der veränderten NC-Bahn erweiterbar ist sowie wahlweise eine Schnittstelle zum Abgreifen der Höheninformationen der diskreten Modellsäulen, vorzugsweise der Nagelbrettausbildungen enthält.

19. System nach einem der Ansprüche 3 bis 18, da-

durch gekennzeichnet, dass zwischen dem Volumenmodellierungssimulationsmodul (15) und dem Vorschubsimulationsmodul (19) ein Untermodul (50) zur Kommunikation, vorzugsweise zur Interprozesskommunikation vorhanden ist.

20. System nach einem der Ansprüche 3 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kollisionsvermeidermodul (32) vorgesehen ist, das programm- und signaltechnisch mit der CAM-Moduleinheit (6), insbesondere mit dem Datenmodul (17) für Soll-Bearbeitungsbahnen und dem Datenbankmodul (16) für Maschinen, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe etc. sowie einem Untermodul (61) zur parametrischen Volumenmodellierung verbunden ist, wobei vom Untermodul (61) zur parametrischen Volumenmodellierung im Wesentlichen sowohl Datenpakete (33) zur Maschinenbeschreibung als auch Datenpakete (34) zur Kollisionsobjektdarstellung an das Kollisionsvermeidermodul (32) signaltechnisch übermittelt werden, wobei das Kollisionsvermeidermodul (32) im Wesentlichen der programm- und signaltechnischen Vereinigung der Module – Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchronisierung, Vergleichsmodul (22), Vorschubsimulationsmodul (19), Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung, Festellmodul (24) – entspricht.

21. System nach einem der Ansprüche 3 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Kollisionsvermeidermodul (32) mit einem Untermodul (35) mit Kollisionsvermeidungsheuristik in Verbindung steht, das im Wesentlichen programmtechnische Kollisionsobjekt-/paar-Vermeidungsdialoge enthält, wobei vom Kollisionsvermeidermodul (32) aus Daten über das Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungsbahnen in einem kollisionsfreien NC-Programm an die zutreffende Werkzeugmaschine (12, 13, 14) weitergeleitet werden.

22. System nach einem der Ansprüche 3 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Hauptträger des Kollisionsvermeidermoduls (32) das Vorschubsimulationsmodul (19) und ein Untermodul (36) zur volumenorientierten Kollisionsprüfung, das Teil des Volumenmodellierungsmoduls (15) ist, das das Untermodul (61) zur parametrischen Volumenmodellierung enthält, sind, wobei ein Bindeglied zwischen dem Untermodul (36) zur volumenorientierten Kollisionsprüfung und dem Untermodul (61) zur parametrischen Volumenmodellierung ein Untermodul (37) zur Datenaufbereitung der Werkzeugmaschinen (12, 13, 14) ist, in dem eingehende Datenpakete (33) zur Maschinenbeschreibung und (34) zur Kollisionsobjektdarstellung aus einem Zuordnungsmodul (26) für virtuelle Maschinendaten in ausgehende Datenpakete (38) zur modifizierten Maschinenaufbereitung und in ausgehende Datenpakete (39) zur Darstellung modifizierter Kollisionsobjekte/paare umgewandelt sind, wobei die Datenpakete (38, 39) Eingangsgrößen des Untermoduls (36) zur volumenorientierten Kollisionsprüfung darstellen.

23. System nach einem der Ansprüche 3 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass weitere Eingangsgrößen des Untermoduls (36) zur volumenorientierten Kollisionsprüfung Datenpakete (40) für Verfahrbewegungen der Werkzeuge (9, 10, 11) während der Bearbeitungsvorgänge sowie Datensignale aus dem Untermodul (42) für diskrete Werkstückmodelle des zweiten Zuordnungsmoduls (28) für virtuelle Werkstückdaten sind, wobei das Untermodul (36) zur volumenorientierten Kollisionsprüfung mit einem Modifizierermodul (37)

verbunden ist, das Kollisionsinformationsdatenpakete (44) zu den Verfahrbewegungen erhält und diese in Form von Datenpaketen (45) mit modifizierten Verfahrbewegungen dem Vorschubsimulationsmodul (19) mit einem darin enthaltenen Untermodul (62) zur Werkstückvolumenänderung übermittelt, wobei eine Modifizierung der Verfahrbewegungen dann erfolgt, wenn aus einem verbundenen Untermodul (35) mit Kollisionsvermeidungsheuristik entsprechende Datensignale zur Änderung der Verfahrbewegungen übernommen werden, und wobei aus dem Untermodul (62) zur Werkstückvolumenänderung heraus die korrigierten Bearbeitungs-Vorgänge an das Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungsbahnen übermittelt werden, von dem aus Datensignale an die zutreffende Werkzeugmaschine (12, 13, 14) gesendet werden.

24. System nach einem der Ansprüche 3 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Hauptträger zur Abarbeitung der Datenpakete und Programme im Untermodul (36) zur volumenorientierten Kollisionsprüfung das Modul (43) zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen, das Modul (30) für eine potentielle Kollisionsmatrix (46) sowie das Modul (47) zur Speicherung der aktuellen Kollisionsmatrix inklusive des Kollisionsvolumens sind, wobei das Vorschubsimulationsmodul (19) mit den weiterleitbaren Datenpaketen (40) für Verfahrbewegungen sowie das Untermodul (37) zur Maschinenaufbereitung mit dem ausgehenden Datenpaket (38) zur modifizierten Maschinenaufbereitung und die Daten aus dem Modul (30) für eine potentielle Kollisionsmatrix (46) ein Untermodul (49) zur paarweisen Kollisionsermittlung bilden, das mit dem Modul (47) zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix datenzuleitend und mit dem Modul (43) zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen datenaufnehmend in Verbindung steht.

25. System nach einem der Ansprüche 3 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass ein Untermodul (51) zur Aktualisierung von Volumen-Werkstückmodellen vorhanden ist, das ein Submodul (52) zum Aufbau einer Quadtreestruktur, ein Submodul (53) zur Ermittlung beteiligter Körper, ein Submodul (54) zur Aktualisierung von Z-Werten und ein Submodul (55) zur Korrektur einer Kollisionsmatrix (46), deren Daten dem Modul (47) zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix übermittelt werden, enthält.

26. System nach einem der Ansprüche 3 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass ein Modifizierermodul (60) vorhanden ist, das im Wesentlichen dem Regelkreis (25) eines anlageninternen Kollisionsbehebungsprozesses zugeordnet ist und das ein Submodul (56) zur Bestimmung eines Gesamt-Kollisionsvolumens, ein Submodul (57) zur Bestimmung von Anstellwinkeln/von Auskraglängen und ein Submodul (58) zur Bestimmung eines Rücksetzpunktes mit einem Datenpaket oder Datensignal (59) zum Rücksetzen enthält, das wahlweise zum Vorschubsimulationsmodul (19) übermittelt wird, wobei von außerhalb mit dem Submodul (56) zur Bestimmung eines Gesamt-Kollisionsvolumens die Datenpakete (44) mit Kollisionsinformationen, die Untermodule (35) mit Kollisionsvermeidungsheuristik und ein Submodul (441) für abschnittsweise Kollisionsinformationen in Verbindung stehen und wobei die inneren Submodule (57) zur Bestimmung von Anstellwinkeln/von Auskraglängen und (58) zur Bestimmung eines Rücksetzpunktes vorgesehen sind und mit dem Vorschubsimulationsmodul (19) zum einen

über die Datenpakete (45) mit korrigierten Verfahrbewegungen und zum anderen über das Datenpaket (59) zum Rücksetzen verbunden sind, und wobei vom Vorschubsimulationsmodul (19) die Datenpakete in das Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen geführt und von da aus die Bearbeitungs-Vorgänge der Werkzeugmaschinen (12, 13, 14) gesteuert werden.

27. Verfahren, insbesondere nach Anspruch 1 oder 2, zur Erstellung von Bearbeitungs-Vorgängen an Werkstücken (2, 3, 4) auf mindestens einer Werkzeugmaschine (12, 13, 14) mittels mindestens eines Werkzeuges (9, 10, 11) insbesondere unter Verwendung des erfundungsgemäßen Systems (1) nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Durchführung ein Algorithmus zur Werkstückvolumenänderungssimulation, insbesondere zur Abtragsimulation, zur volumenorientierten Kollisionsprüfung, zur Modifikation und zur Rücksetzung für ein NC-Programm innerhalb einer algorithmischen Verzahnung von Werkstückvolumenänderungssimulation und Volumen-Kollisionsprüfung zugrunde liegt und dass aus einer der CAM-Moduleinheit (6) zugeordneten originalen NC-Datei (70) eines Datenmoduls (17) für Soll-Bearbeitungs-Bahnen, vorzugsweise eines ersten NC-Bahn-Datenmoduls automatisch und anlagenintern eine kollisionsfreie NC-Bahn-Datei erstellt wird, die in das Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen, insbesondere einem zweiten NC-Bahn-Datenmodul, über einen zwischengeschalteten programmierten Datenaufbereitungs- und Synchronisierungsprozess in dem Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchronisierung übermittelt wird.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Ablauf der Werkstückvolumenänderungssimulation, der volumenorientierten Kollisionsprüfung, der Modifikation und der Zurücksetzung innerhalb der algorithmischen Verzahnung von Werkstückvolumenänderungssimulation und Volumen-Kollisionsprüfung quasi parallel ablaufen, wobei für jeden NC-Satz sowohl die Werkstückvolumenänderungssimulation als auch die volumenorientierte Kollisionsprüfung auch mit dem Ergebnis, dass bei Kollisionen ein Zurücksetzen im NC-Programm erforderlich ist, durchgeführt wird.

29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die anlageninterne Kollisionsbehebung durch die Simulation von Werkzeug (9, 10, 1) und Werkstück (2, 3, 4) mit schnellem diskretem Abtragsmodell und die Simulation der kompletten Aufspannung inkl. Maschine (12, 13, 14), Werkzeughalter, Spindel und aktueller Rohteilgeometrie mit schnellem Kollisionsmodell (z. B. CSG-Volumenmodell) in einem parallelen Prozess erfolgt und über einem Steuerungsprozess in der zugehörigen Datenverarbeitungsanlage (5) mit einem Kollisionsbehebungsprozess programm- und signaltechnisch verbunden abläuft.

30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass zur Vermeidung von Kollisionen bei realen und/oder virtuellen Bearbeitungs-Vorgängen im Rahmen der Fertigung eines Werkstücks (2, 3, 4) eine Simulation ausgelöst wird, bei der die Maschinendynamik, die Maschinengeometrie, das Werkzeug (9, 10, 11), die Werkzeugaufnahme, die Aufspannung und die aktuelle Rohteilgeometrie – Istgeometrie – des Werkstücks (2, 3, 4) vor oder zu jedem Zeitpunkt der Fertigung derart berücksichtigt werden, dass ein Prozess zur Behebung der Kollision stattfindet.

31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Kollisionsbehebungsprozess bei auftretender Kollision unter den Kriterien einer Winkeloptimierung von Anstellwinkel und/oder einer Werkzeugverlängerung bezüglich der Auskraglänge mit beiden Simulationsmodellen kommuniziert und unter Berücksichtigung der Sollgeometrie nach einem Bearbeitungs-Vorgang, der aktuellen Rohteilgeometrie, der Aufspannsituation und der Maschinenkinematik eine Korrektur der tatsächlichen, jeweils vorliegenden NC-Bahnen vornimmt.

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle Rohteilgeometrie (Istwert) des Werkstücks (2, 3, 4) zu jedem Zeitpunkt eines Bearbeitungs-Vorgangs zur Auswertung vorliegt.

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass bei Ablauf des programmierten Datenaufbereitungs- und -synchronisierungsprozesses Daten aus dem Datenbankmodul (16) für Maschine, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe etc., Daten aus dem Vorschubsimulationsmodul (19), Daten aus dem Volumenmodellierungsmodul (15), Daten aus dem Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung mit einer Einstellung von Anstellwinkel und/oder von Auskraglängen entnommen werden, wobei der Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung mit dem Vorschubsimulationsmodul (19) und dem Volumenmodellierungsmodul (15) derart kommuniziert, dass unter Berücksichtigung der Soll-Geometrie aus der CAM-Moduleinheit (6) nach jedem Bearbeitungs-Vorgang Daten der aktuellen Rohteilgeometrie, der Aufspannsituation und der Maschinenkinematik dem Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung übermittelt werden und dort eine wahlweise Kollisionskorrektur des nächsten Bearbeitungs-Vorganges und somit der NC-Bahn erfolgt, wobei die Korrekturdaten im Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung über das Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchronisierung dem Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen zugeführt werden, aus dem Befehle und Daten für den nächstfolgenden Bearbeitungs-Vorgang eines Werkzeugs (9, 10, 11) am Werkstück (2, 3, 4) auf der Werkzeugmaschine (12, 13, 14) bereitgestellt werden.

34. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass der Volumenmodellierungssimulationsmodul (15) und der Vorschubsimulationsmodul (19) zu einem hybriden Simulationsmodul (23) vereinigt und programm- und signaltechnisch derart miteinander verbunden werden, dass die hohe Verarbeitungsschnelligkeit des Vorschubsimulationsmoduls (19) und die hohe Erkennungsgeschwindigkeit des Volumenmodellierungssimulationsmoduls (15) beibehalten und genutzt werden, wobei vorzugsweise eine Schnittstelle als eine diese Eigenschaften unterstützende Daten-Durchgangs- und -Verteilungsstelle vorhanden ist, über die die beiden Simulationsmodule – Volumenmodellierungssimulationsmodul (15) und Vorschubsimulationsmodul (19) – gegenseitig Informationen austauschen.

35. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass weitere Module von außerhalb durch eine additive Programmierung der Schnittstelle (50) an das Volumenmodellierungssimulationsmodul (15) angeschlossen werden und mit ihm kommunizieren.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 35,

dadurch gekennzeichnet, dass die Daten aus dem Datenbankmodul (16) für Maschine, Spannmittel, Werkzeuge, Werkstoffe und dem Datenmodul (17) für Soll-Bearbeitungs-Bahnen über das Modul (7) zur Datenaufbereitung und -synchronisierung in den Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen übermittelt und über das Vergleichsmodul (22) dem hybriden Simulationsmodul (23) zugeführt werden, wobei im Feststellmodul (24) zur Feststellung von Kollisionsdaten die Kontrolle auf Kollisionen erfolgt und bei Erkennung von Kollisionen vom Feststellmodul (24) zunächst im Simulationsprozess der Regelkreis (25) durchlaufen wird, bis die Kollision nicht mehr auftritt oder eine vorgegebene Weglänge überschritten ist.

37. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass der dem Hauptmodul (18) zur Simulation von Bearbeitungs-Vorgängen zugeordnete, in einem Regelkreis (25) enthaltene Kollisionsbehebungsprozess bei festgestellter Kollision der beteiligten Körper und Maschinen in dem Feststellmodul (24) zur Feststellung von Kollisionsdaten unter den Kriterien der Optimierung des Anstellwinkels des betreffenden Werkzeugs (9, 10, 11) und der Einstellung der Auskraglänge des gleichen Werkzeugs (9, 10, 11) im Simulationsmodul (20) zur anlageninternen Kollisionsbehebung bei signaltechnischem Datenaustausch und der Kommunikierung der Simulationsmodule (15, 19, 20) untereinander und in dem Vergleichsmodul (22) unter Berücksichtigung der Sollgeometrie nach jedem Bearbeitungs-Vorgang, der aktuellen Werkstückrohteilgeometrie, der Aufspansituation und der Maschinenkinematik eine automatische Korrektur der kollisionsbehafteten Bearbeitungs-Bahn vornimmt, deren Daten an das Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übermittelt werden.

38. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass vorzugsweise Anstellwinkel und/oder Auskraglänge die Stellgrößen auf der Regelstrecke des Regelkreises (25) sind, deren Daten das Vergleichsmodul (22) von dem Feststellmodul (24) über die Regelstrecke übermittelt erhält, die die zutreffenden Daten und/oder Koordinaten/Vektoren bei Kollisionsfreiheit – Toleranzwert K ist gleich oder sehr nahe Null – in das Modul (8) zur Aufnahme kollisionsfreier Bearbeitungs-Bahnen übermittelt werden, wobei der Toleranzwert K von Anfang an den Wert Null aufweisen kann, was auf keine Kollision hinweist, oder bei Kollision – der Toleranzwert K ist ungleich Null – nach mindestens einem Durchlauf bzw. einer schnell durchgeföhrten Durchlauffolge im Regelkreis (25) durch Änderung der Stellgrößen der ursprüngliche Toleranzwert K nahe Null oder gleich Null geführt wird.

39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Daten einer vorgegebenen Soll-Bahn und einer momentan festgestellten Ist-Bahn des Werkzeugs (9, 10, 11) eine nachfolgende Bearbeitungs-Bahn erhalten wird, auf der die Führung des Werkzeugs (9, 10, 11) gegenüber dem Werkstück (2, 3, 4) und der Werkzeugmaschine – (12, 13, 14) kollisionsfrei ist, wobei aus den maschinenunabhängigen Daten der Soll-Bearbeitungs-Vorgänge durch das hybride Simulationsmodul (23) maschinenabhängige, maschinenbezogene Bearbeitungs-Bahnen automatisch anlagenintern erzeugt werden.

40. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass das aufgetretene Kollisionsvolumen sowie die Informationen der beteiligten Komponenten vorzugsweise in dem Feststellmodul

(24) zur Feststellung von Kollisionsdaten gespeichert und verarbeitet werden und nachfolgend eine Korrektur des ursprünglichen NC-Programms erfolgt.

41. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass bei Kollision durch Variation des Anstellwinkels und Vorgabe von Heuristiken sowie durch Variation der Auskraglänge zuerst versucht wird, durch Anstellwinkeländerung eine Kollisionsvermeidung mittels heuristischer Angaben zu realisieren, die in einem Untermodul (35) mit Kollisionsvermeidungsheuristik vorgegeben gespeichert werden, wobei bei Auftreten einer großen Anzahl von Anstellwinkeländerungen auf einer gegebenen Weglänge oder bei Nichtbehebung der Kollision durch Anstellwinkeländerung die Auskraglänge variiert bzw. erhöht wird.

42. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 41, dadurch gekennzeichnet, dass bei Durchlauf des Regelkreises (25) zur anlageninternen Kollisionsbehebung die Simulation an einen vorgegebenen Punkt des Feststellmoduls (24) im NC-Programm des Vergleichsmoduls (22) zurückgesetzt wird.

43. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 42, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erkennung einer Kollision der Werkzeuge (9, 10, 11) der Maschinenteil, der Maschinen (12, 13, 14) mit einem Werkstück (2, 3, 4) ein Abbild eines diskreten Werkstückvolumenmodells aus dem Vorschubsimulationsmodul (19) in einem CSG-Volumenmodell des Volumenmodellierungssimulationsmoduls (15) realisiert wird, wobei das CSG-Volumenmodell im Volumenmodellierungssimulationsmodul (15) in Form von Quadern zusammengesetzt wird, wobei die Quader die gleiche Höhe und verschiedene Lagen im Raum aufweisen und die XY-Position der Quader äquidistant verteilt ist, wobei sich deren Höhe aus der Höhe des Werkstücks (2, 3, 4) im diskreten Volumenmodell des Werkstücks (2, 3, 4) ergibt.

44. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 43, dadurch gekennzeichnet, dass eine Baumstruktur implementiert wird, die eine Vorauswahl der potentiellen Kollisionsobjekte ermöglicht.

45. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 44, dadurch gekennzeichnet, dass bei mehrachsigen, insbesondere 3+2-achsigen oder simultan 5-achsigen, Werkzeuggbewegungen das System (1) implementiert wird, welches die Bearbeitung mit angestellten Achsen simuliert und korrigiert, wobei die Anstellwinkel sich auf Anstellung des Werkzeugs (9, 10, 11) beziehen, wobei insbesondere die im NC-Programm angegebenen Winkel A, B und C das jeweilige Werkzeug (9, 10, 11) um die X, Y und Z-Achse drehen.

46. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass eine möglichst schmale Schnittstelle zur Werkstückänderungssimulation – zur Materialabtrag-/auftragsimulation – realisiert wird, die wahlweise austauschbar ist.

47. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 46, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzeige der Verfahrbewegungen der Werkzeugmaschine (9, 10, 11) inkl. des sich verändernden Werkstücks (2, 3, 4) derart durchgeführt wird, dass aus der Menge der Objekte (Maschine, Spannmittel, Werkstück) eine vorgebbare Untermenge gebildet wird, die in vorgebbaren Zeitabständen visualisiert wird.

48. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 47, dadurch gekennzeichnet, dass zur Visualisierung der Maschinenbewegung die Menge der darzustellenden Objekte des Werkstücks (2, 3, 4) von der Menge der auf

Kollision zu prüfenden Objekte derart entkoppelt wird, dass eine schmale Datenkopplung zwischen diskretem Werkstückmodell und einem CSG-Volumenmodell herbeigeführt und eine Boolesche Matrix mitgeführt wird, die festhält, an welchen Stellen des diskreten Werkstückmodells ein Abtrag oder Auftrag stattgefunden hat.

49. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 48, dadurch gekennzeichnet, dass eine potentielle Kollisionsmatrix (46) vorzugsweise in tabellarischer Form mit einer Horizontalleiste D_i und einer Vertikalleiste E_j für eine Werkzeugmaschine (12, 13, 14), insbesondere für eine NC-Fräsmaschine ausgebildet ist, in der vorzugsweise Kollisionsobjekte (34, 39) – insbesondere Stützen, Querträger, Spindel, Werkzeughalter, Werkzeug (9, 10, 11), Spannelemente, Werkstück (2, 3, 4) – als Kollisionsobjektpaare (D_i - E_j) den Rahmen bilden, wobei in = der Kollisionsmatrix (46) festgelegt wird, welche Objekte auf paarweise Kollision prüfbar sind.

50. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 49, dadurch gekennzeichnet, dass die Werkzeugmaschinen (12, 13, 14) in Gruppen unterteilt und ähnlich der Kollisionsmatrix (46) mittels der Datenpakete (33, 38) zur Maschinenbeschreibung sowie des Untermoduls (37) zur Maschinenaufbereitung ausgebildet sind.

51. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 50, dadurch gekennzeichnet, dass für die Kollisionsobjekte (D_i , E_j) Dialoge erstellt werden, die die Gruppierung einzelner Objekte im Volumenmodellierungsmodul (15) wahlweise festlegen, wobei sowohl die Gruppierungen geladen, gespeichert und modifiziert als auch die zur Definition sämtlicher möglicher Kollisionsobjektpaarungen zugeordneten Dialoge eingespeichert werden, wobei zu den einzelnen Kollisionsobjektpaaren aus dem Untermodul (35) zur Kollisionsvermeidungsheuristik zugehörige, fest implementierte Modifikationsheuristiken angewählt werden.

52. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 51, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Zuordnung je nach Kollisionsobjektpaarung unterschiedliche Ausweichstrategien verfolgt werden und eine direkte Verbindung zwischen dem Untermodul (37) zur Maschinenaufbereitung und dem Modifizierermodul (60) über das Untermodul (36) zur volumenorientierten Kollisionsprüfung aufgebaut wird.

53. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 52, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kollisionsmatrixerstellung mittels der Datenpakete (34, 39) für Kollisionsobjekte und/oder für modifizierte Kollisionsobjekte die erhaltenen Datenpakete (48) zur Erstellung einer potentiellen Kollisionsmatrix unter Mithilfe der Datenpakete (38) zur modifizierten Maschinenbeschreibung und der Datenpakete (40) für Verfahrbewegungen an das Modul (30) für eine potentielle Kollisionsmatrix (46) übermittelt werden, wobei das Untermodul (49) zur paarweisen Kollisionsermittlung die ermittelten Ergebnisse dem Modul (47) zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix zuführt.

54. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 53, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Informationen und Daten aus dem Modul (42) für diskrete Werkstückmodelle und aus dem Modul (43) zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen sowie aus dem Modul (47) zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix in dem Untermodul (51) zur Aktualisierung von Volumen-Werkstückmodellen die Aktualisierung des Volumen-Werkstückmodells durchgeführt wird, wobei die aktuellen Datenpakete erstens zurück an das Modul

(47) zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix übermittelt und nach Verarbeitung als Kollisionsinformationen (44) an das Modifizierermodul (34) übertragen werden und zweitens an das Modul (43) zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen zu dessen Aktualisierung geführt werden.

55. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 54, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der potentiellen Kollisionsmatrix (46) die Kollisionsberechnung durchgeführt wird, wobei unterschieden wird, ob eine Kollision mit oder ohne Beteiligung des Werkstücks (2, 3, 4) berechnet wird, wobei vorzugsweise eine Prüfung anhand von Bounding-Boxen vorgenommen und anschließend je nach Bedarf eine komplette Kollisionsprüfung mit Routinen des Volumenmodellierungssimulationsmoduls (15) durchgeführt wird.

56. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 55, dadurch gekennzeichnet, dass im Prozess "Volumen-Werkstückmodell aktualisieren" infolge einer Einbeziehung sowohl der realen als auch der virtuellen Daten der Werkzeugmaschinen (12, 13, 14) durch das Auftreten von endlichen Genauigkeiten die zutreffenden Ungenauigkeiten bei der Kollisionsermittlung berücksichtigt werden, wobei die Werkzeugmaschinen (12, 13, 14) um einen bestimmten proportionalen Betrag vergrößert werden, indem sämtliche Teile um einen Faktor skaliert werden.

57. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 56, dadurch gekennzeichnet, dass das Modul (47) zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix Informationen an das Submodul (53) zur Ermittlung beteiligter Körper übermittelt, das ebenfalls Informationen aus dem Modul (43) zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen erhält, dass das Submodul (52) zum Aufbau einer Quadtreestruktur Daten aus dem Modul (42) für diskrete Werkstückmodelle und Daten aus dem Modul (43) zum Aufbau einer Quadtreestruktur erhält, deren Ergebnis an das Modul (43) zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen rückübermittelt wird, und dass das Submodul (54) zur Aktivierung von Z-Werten Informationen aus dem Submodul (53) zur Ermittlung beteiligter Körper erhält und das Ergebnis sowohl an das Modul (43) zur Speicherung von Volumen-Werkstückmodellen als auch an das Submodul (55) zur Korrektur einer Kollisionsmatrix übermittelt, wobei Datenpakete (44) mit Kollisionsinformationen vom Modul (47) zur Speicherung einer aktuellen Kollisionsmatrix in Richtung Modifizierermodul (60) gesendet werden.

58. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 57, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem ermittelten Gesamt-Kollisionsvolumen einer Teilstrecke nach der Kollisionsvermeidungsheuristik eine Modifikation der Parameter/Stellgrößen – vorzugsweise Anstellwinkel und/oder Auskraglänge – vorgenommen wird, wobei die Kollisionsvermeidungsheuristik oder eine Menge von Heuristiken für verschiedene Kollisionsobjektpaarungen implementiert werden, wobei im Falle einer Variation der Anstellwinkel bei zylindrischen und torischen Fräsern eine Korrektur der Bahn vorgenommen wird, um Unterschnitte zu vermeiden, wobei das Werkzeug (9, 10, 11) in Richtung der ursprünglichen Werkzeugachse verschoben wird.

59. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 58, dadurch gekennzeichnet, dass der Simulationsablauf mit der Änderung des Volumens eines Werkstücks wahlweise parallel zu den realen Bearbeitungs-Vorgängen oder vor der Realisierung der Bearbeitungs-Vor-

gänge am Werkstück durchgeführt wird, um zumindest vor der Durchführung eines realen Bearbeitungs-Vorganges zu kontrollieren, ob Kollisionen vorliegen, die je nach Bedarf eine Erweiterung des Maschinenparks und/oder einer Werkzeugpalette bedingen.

5

60. Verfahren nach einem der Ansprüche 27 bis 59, dadurch gekennzeichnet, dass ein ursprüngliches NC-Programm (70) aus dem Datenmodul (17) für Soll-Bearbeitungs-Bahnen im Wesentlichen mit einer Verwaltung (71), insbesondere mit einer Rücksetz-Verwaltung versehen wird, an die auch NC-Satzspeicher (72) geführt werden, wobei für den i-ten Bearbeitungs-Vorgang der i-te NC-Satz (73) aus dem NC-Satzspeicher (72) ausgelesen und im Vorschubsimulationsmodul (19) die zugehörige Werkstückvolumenänderungssimulation (74), in der die Nägel (75) gemäß einem verwendeten Nagelbrettmodell abgeschnitten werden, durchgeführt wird.

10

15

61. Verfahren nach Anspruch 60, dadurch gekennzeichnet, dass die der Werkstückvolumenänderungssimulation (74), vorzugsweise der Abtragsimulation zuordnete volumenorientierte Kollisionsprüfung (76) für den i-ten NC-Satz im Untermodul (36) zur volumenorientierten Kollisionsprüfung ergeben kann, dass Kollisionsfreiheit mit dem Toleranzwert K gleich Null vorliegt und durch das positive Signal (77) der nächste i+1-NC-Satz aus dem NC-Satzspeicher (72) ausgelesen werden kann, oder dass eine Kollision mit einem Toleranzwert K ungleich Null vorliegt, wodurch dann durch das negative Signal (78) die Modifikation der Anstellwinkel des Werkzeugs (9, 10, 11) initiiert wird, wobei die Modifikation (79) der Anstellwinkel des Werkzeugs (9, 10, 11) unter Verwendung einer fest eingebauten Heuristik im Untermodul (35) zur Kollisionsvermeidungsheuristik erfolgt, wodurch sich eine Modifikation (80) der Bahn zur Kollisionsvermeidung im i-j-ten Abschnitt ergeben kann, wobei das Informationsignal (81) den i-ten NC-Satz ändert und die Modifikation der Bahn durch die Berechnung der Verschiebung für einen vorgegebenen Winkel erfolgt, wobei vorzugsweise die Verschiebung in Z-Richtung oder in Richtung der veränderten oder ursprünglichen Werkzeugachse erfolgt oder falls die bisherigen Modifikationsparameter (82) für den i-j-ten Abschnitt von der Modifikation (79) der Anstellwinkel übernommen werden, erfolgt nur eine Modifikation (80) der Bahn in Richtung der ursprünglichen Werkzeugachse, wobei eine Korrektur der i-ten NC-Bahn zur Vermeidung von Unterschnitten bei torischen und zylindrischen Werkzeugen vorgenommen wird.

20

25

30

35

40

45

50

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

- Leerseite -

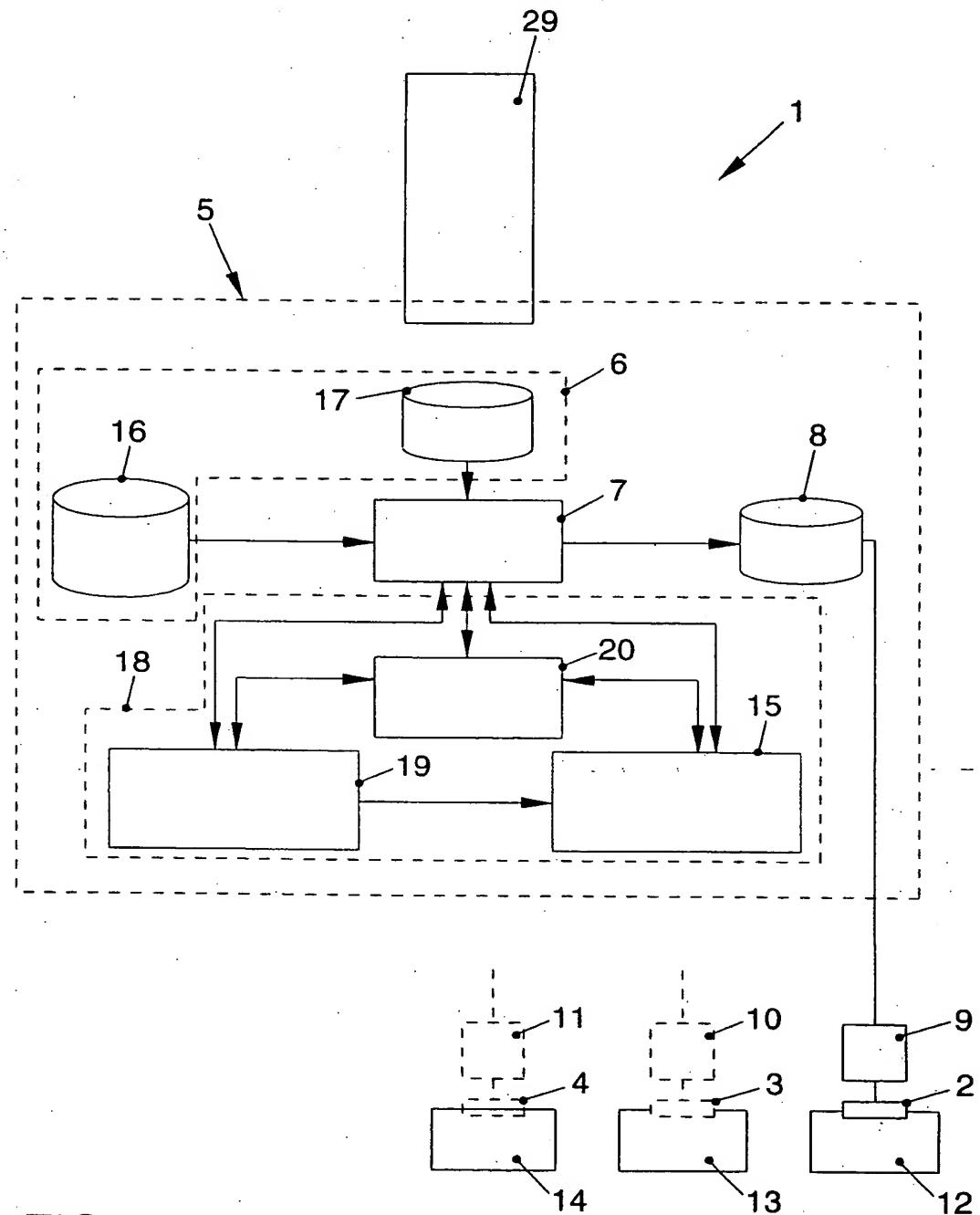


FIG. 1

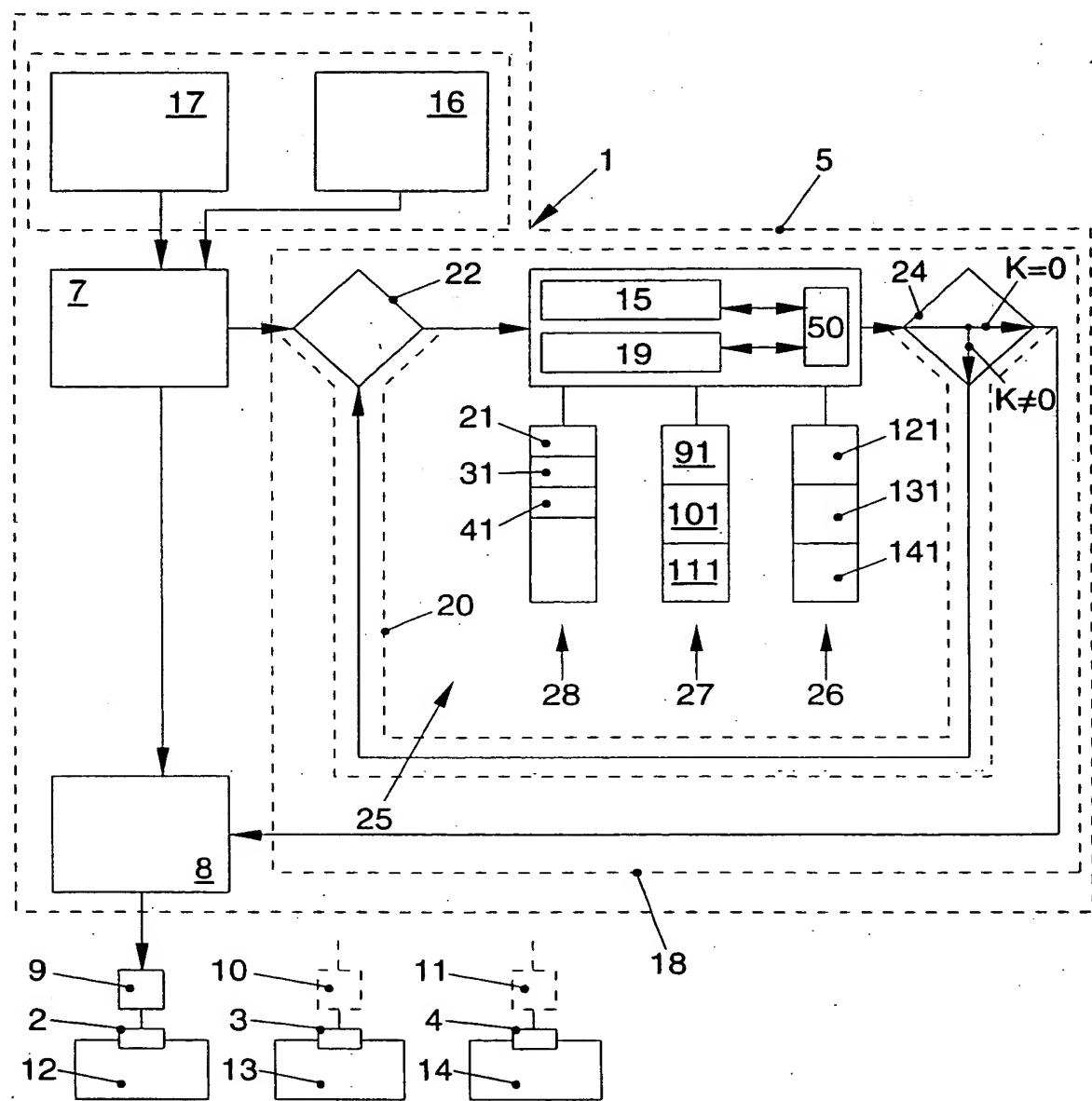


FIG. 2

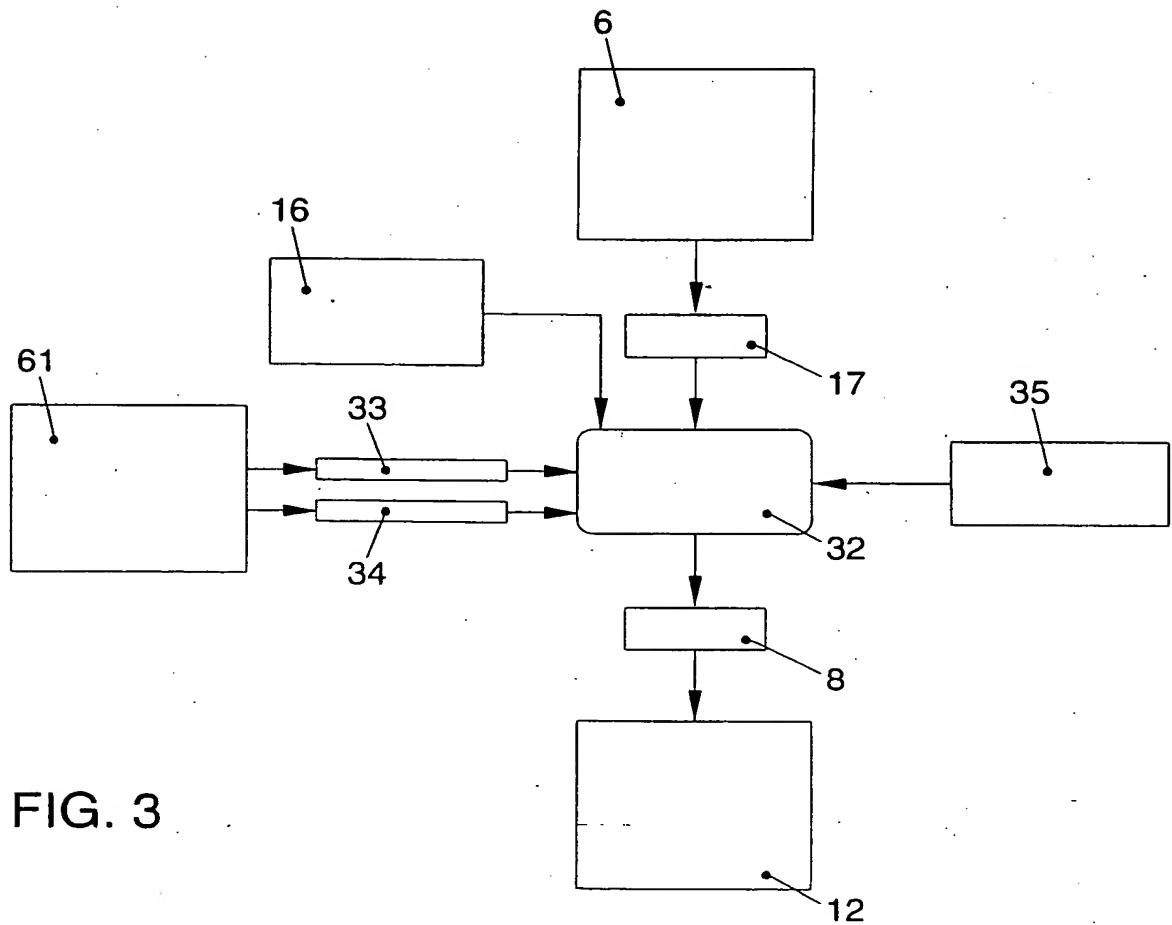


FIG. 3

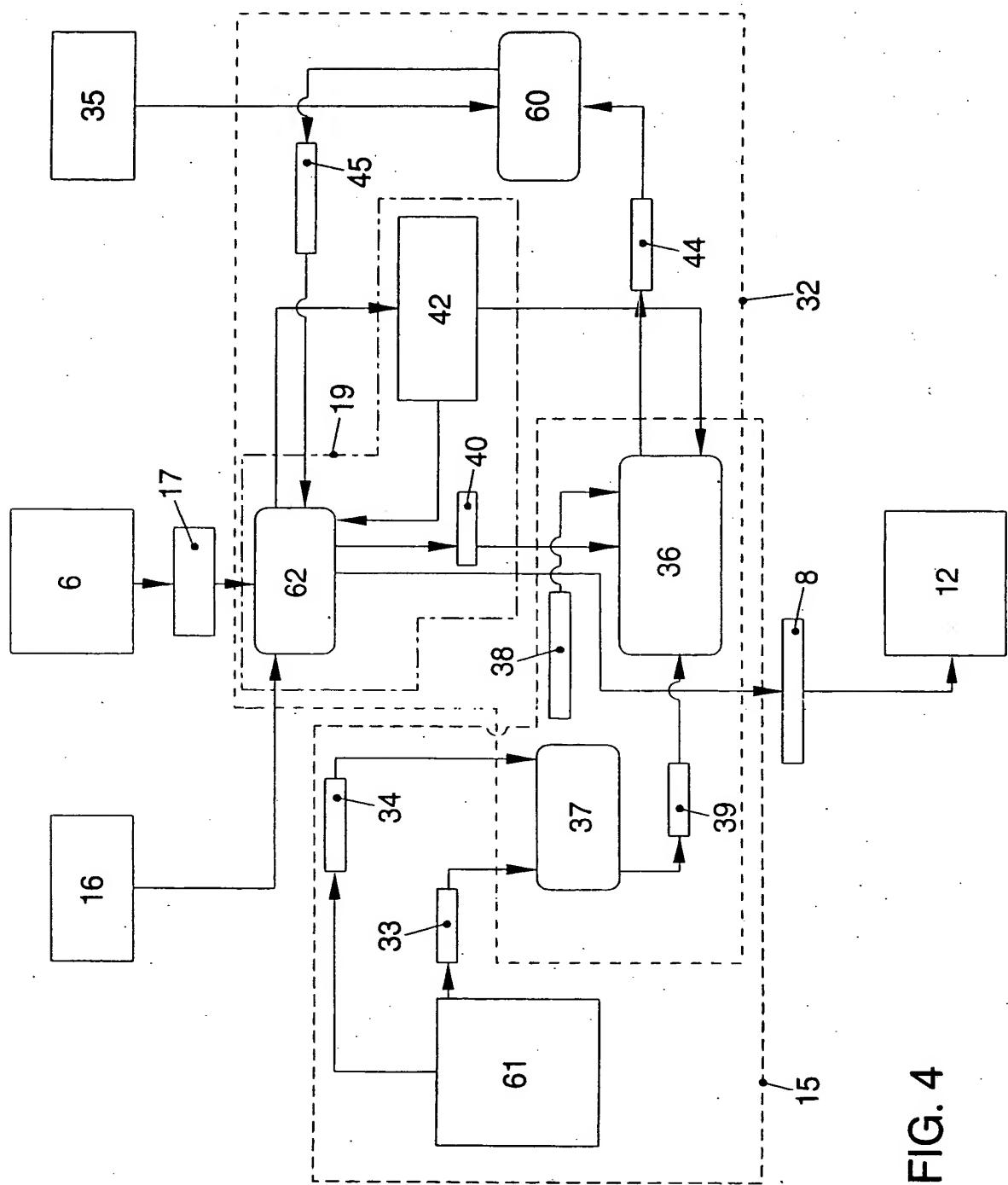


FIG. 4

46

Ej	Di	Stützen	Querträger	Spindel	Werkzeug-halter	Werkzeug	Spann-elemente	Werkstück
Stützen				X		X		
Querträger								
Spindel						X		X
Werkzeug-halter		X				X		X
Werkzeug	X					X		
Spann-elemente				X			X	
Werkstück				X		X		

FIG. 5

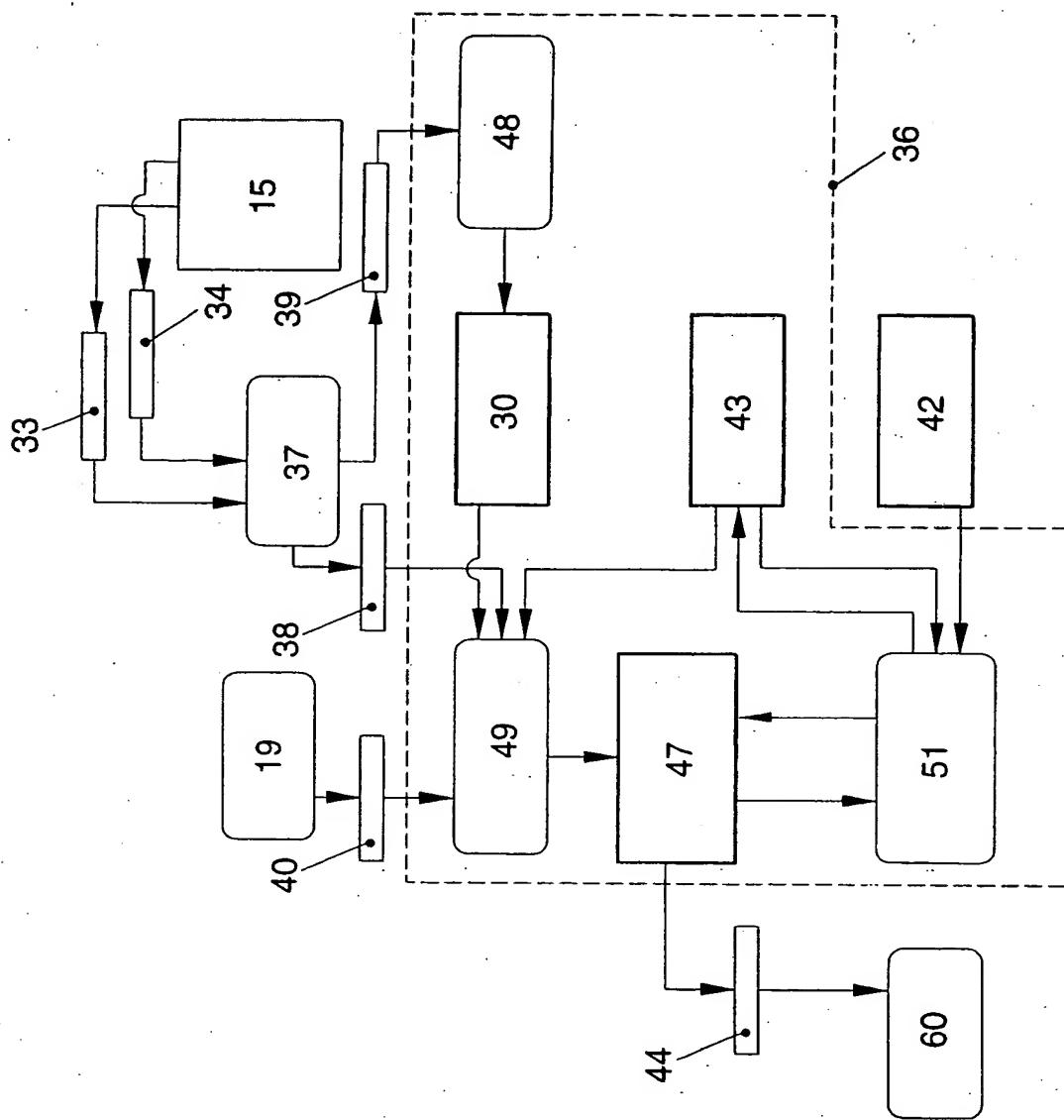


FIG. 6

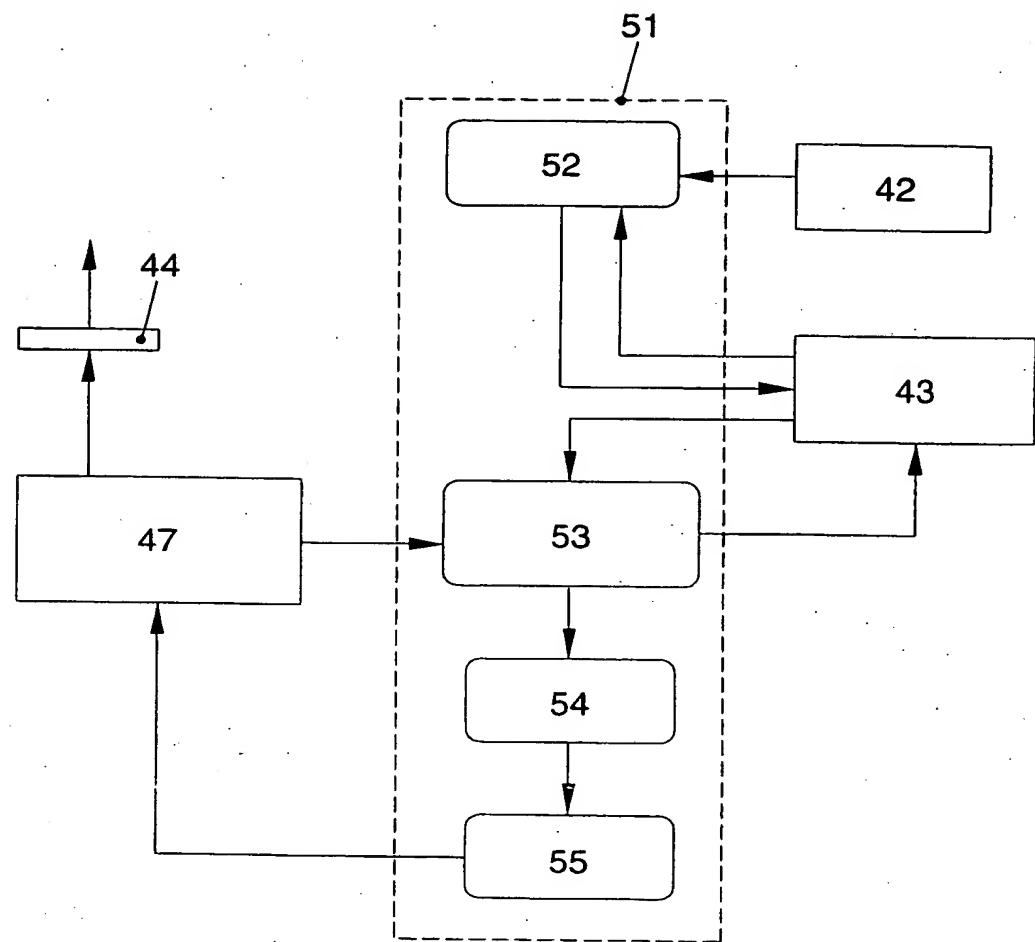


FIG. 7

